

Częstochowski
Kalendarz Astronomiczny
2018

Rok XIV

Redakcja
Bogdan Wszolek i Agnieszka Kuźmich

Wersja elektroniczna kalendarza jest dostępna na stronie

www.astronomianova.org

Podstawową formą książki jest wersja drukowana

Częstochowski Kalendarz Astronomiczny 2018

Redakcja

Bogdan Wszolek i Agnieszka Kuźmicz

Autorzy przyczynków:

Ivan Andronov
Katarzyna Bajan
Małgorzata Bankowicz
Monika Biernacka
Marek Biesiada
Kazimierz Błaszczak
Lidia Chinarova
Grzegorz Czepiczek
Piotr Flin
Włodzimierz Godłowski
Jagoda Grabowska
Mateusz Harasymczuk
Marek Jamrozy
Tomasz Kisiel
Agata Kołodziejczyk
Jacek Kruk

Larisa Kudashkina
Elżbieta Kuligowska
Agnieszka Kuźmicz
Krzysztof Maślanka
Grzegorz Michałek
Paulina Pajowska
Elena Pańko
Agnieszka Pollo
Joanna Popiela
Stanisław Ryś
Joanna Saleta
Vladimir Stephanovich
Róża Szafraniec
Virginia Trimble
Anna Wojtowicz
Bogdan Wszolek
Waldemar Zwierzchlejski



Stowarzyszenie Astronomia Nova

Częstochowa 2017

Zespół recenzentów

Ivan L. Andronov, Marek Biesiada, Krzysztof Maślanka, Agnieszka Pollo

Redakcja naukowa

Bogdan Wszolek, Agnieszka Kuźmich

Korektorzy

Bogdan Wszolek, Agnieszka Kuźmich, Magdalena Wszolek

Redakcja techniczna

Bogdan Wszolek, Agnieszka Kuźmich

Projekt okładki

Agnieszka Kuźmich, Bogdan Wszolek

Strona 1 okładki

Rycina znaku Wodnika zaczerpnięta z atlasu nieba opracowanego przez Jana Heweliusza (1611–1687) w dziele *Prodromus astronomiae cum catalogofixarum et firmamentum Sobiescianum...* Gdańsk 1690

Strona 4 okładki

Antena RFT-5.4 w Obserwatorium Astronomicznym Królowej Jadwigi
w Rzepienniku Biskupim

© Copyright by Astronomia Nova oraz Wydawnictwo AJD w Częstochowie

ISBN 978-83-7455-550-0

ISSN 1895-0787

Zamieszczone w książce fotografie, jeśli nie wskazano źródła,
pochodzą z archiwum Astronomii Novej

Wydanie niniejszego tomu było współfinansowane przez
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Wydawnictwo im. Stanisława Podobińskiego
Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

42-200 Częstochowa, ul. Waszyngtona 4/8

tel. (34) 378-43-29, faks (34) 378-43-19

www.ajd.czyst.pl

e-mail: wydawnictwo@ajd.czyst.pl

Spis treści

Słowo wstępne (<i>B. Wszolek</i>)	7
Część pierwsza (tabelaryczna)	
Kalendarz na rok 2018 (<i>A. Kuźmich</i>)	9
W roku 2018 (<i>A. Kuźmich, B. Wszolek</i>)	21
Konferencja <i>Astrophisica Nova</i>	22
Konkurs <i>Urania</i>	23
Konkurs <i>Ars Astronomica</i>	24
Tabele astronomiczne (<i>B. Wszolek</i>)	25
Wschody, górowania i zachody Słońca w Częstochowie	25
Świty i zmierny w Częstochowie	31
Wschody, górowania i zachody Księżyca w Częstochowie	37
Czas gwiazdowy dla Częstochowy.....	43
Wschody, górowania i zachody Słońca w Rzepienniku	47
Świty i zmierny w Rzepienniku	53
Wschody, górowania i zachody Księżyca w Rzepienniku	59
Czas gwiazdowy dla Rzepiennika	65
Część druga (dydaktyczno informacyjna)	
Fazy Księżyca (<i>B. Wszolek</i>)	70
Kronika Astronomii Nowej za rok 2017 (<i>B. Wszolek</i>)	71
Highlights of Odessa Branch of AN in 2017 (<i>I. L. Andronov</i>)	93
Relacja z całkowitego zaćmienia Słońca 2017 (<i>K. Błaszczak</i>)	99
Wyprawa na całkowite zaćmienie Słońca 2017 (<i>T. Kisiel, J. Saleta</i>)	103
Rozwój EC1 w roku 2017 (<i>T. Kisiel</i>)	109
Mój staż w Europejskiej Agencji Kosmicznej (<i>A. Kołodziejczyk</i>) ...	111
Przygoda z nieważkością (<i>M. Harasymczuk</i>)	125
Gwiazda Lubomira (<i>J. Kruk</i>)	129
Stacje astronomiczne Lubomir i Oklejna (<i>R. Szafraniec</i>)	131
W charakterze uzupełnienia (<i>J. Kruk</i>)	144
Kreatywne zajęcia z astronomii dla dzieci (<i>E. Kuligowska</i>)	147
Schody do nieba w Rzepienniku (<i>B. Wszolek</i>)	153
Problemy wokół nauczania astronomii (<i>B. Wszolek</i>)	165
Część trzecia (artykuły popularnonaukowe)	
Wiersze (<i>L.L. Chinarova</i>)	176
Władimir Platonowicz Cesewicz (<i>I. L. Andronov</i>)	177
Zaćmienia Słońca w Częstochowie (<i>G. Czepiczek, J. Grabowska</i>) ..	183
Pół wieku od śmierci Jurija Gagarina (<i>J. Kruk</i>)	187
Profesor Eugeniusz Rybka – dyrektor trzech obserwatoriów (<i>M. Jamrozy</i>)	195

Cassini – koniec wielkiej misji (<i>W. Zwierzchlejski</i>)	201
Część czwarta (przyczynki naukowe)	
The LIGO Fight Song (<i>V. Trimble</i>)	233
Fale grawitacyjne – nowe okno na Wszechświat (<i>M. Biesiada</i>)	235
Badanie własności galaktyk jasnych w podczerwieni (<i>M. Bankowicz, A. Pollo</i>)	247
Największe radioźródła typu FR II na najwyższych wartościach przesunięć ku czerwieni (<i>E. Kuligowska</i>)	253
Uporządkowanie orientacji galaktyk w gromadach w zależności od typów morfologicznych (<i>W. Godłowski i in.</i>)	261
Wyznaczanie funkcji świecenia gromad galaktyk na podstawie próbki 6168 gromad (<i>J. Popiela i in.</i>)	271
Atlas of the Light Curves and Phase Plane Portraits of Selected Long-Period Variables (<i>L.S. Kudashkina, I.L. Andronov</i>)	283
Populacje gwiazdowe gigantycznych radioźródeł (<i>A. Kuźmich</i>)	291
Kilka refleksji o teorii liczb (<i>K. Maślanka</i>)	301
Czy Słońce zmienia się? (<i>G. Michałek</i>)	309
Pomiary polaryzacji promieniowania radiowego obiektów kosmicznych (<i>S. Rys</i>)	313
Nowe spojrzenie na własności galaktyk z osiowo-symetrycznymi zaburzeniami dżetu (<i>A. Wójtowicz</i>)	321

Słowo wstępne (Bogdan Wszolek)

Astronomia, będąc najstarszą nauką przyrodniczą, bynajmniej nie przestaje być aktualna dzisiaj. Jest najszybciej rozwijającą się dziedziną wiedzy, a rozumienie jej osiągnięć wymaga coraz częściej odpowiedniego przygotowania. Ludzie przejawiają zainteresowanie wieloma sprawami z dziedziny astronomii w sposób naturalny. Na podstawie tych zainteresowań można skutecznie pociągnąć młodych do studiowania zarówno nauk ścisłych, jak i humanistycznych. Wiedza o dawnych i dzisiejszych zdobyczach astronomii jest szeroko dostępna, ale społeczna jej przyswajalność jest niewielka. Braki edukacyjne w dziedzinie astronomii, niezależnie od tego co je powoduje, świadczą o zaniedbaniach ze strony środowisk kulturotwórczych. Coroczne wydawanie Częstochowskiego Kalendarza Astronomicznego ma umniejszać takie zaniedbania.

Częstochowski Kalendarz Astronomiczny jest adresowany zarówno do osób, które w swojej praktyce zawodowej potrzebują ścisłej informacji odnośnie niektórych zdarzeń astronomicznych, jak również do nauczycieli pragnących lepiej orientować się, co do terminu i charakteru zjawisk zachodzących na niebie. Przede wszystkim jednak jest tworzony z myślą o aktywnych miłośnikach astronomii i astronautyki.

W części pierwszej kalendarza czytelnik znajdzie wiele informacji szczegółowych, dotyczących różnych zjawisk astronomicznych, oraz informacje o konkursach i konferencjach astronomicznych w roku 2018. Część druga ma charakter dydaktyczno-informacyjny. Zawiera czternaście przyczynków, w tym kronikę zdarzeń o wydźwięku astronomicznym i astronautycznym za rok 2017, relacje ważniejszych wydarzeń, w których uczestniczyli członkowie Astronomii Novej lub częstochowscy miłośnicy astronomii, artykuły dotyczące edukacji astronomicznej oraz wspomnienia historyczno astronomiczne. Część trzecia zawiera pięć przyczynków popularnonaukowych, w tym szczegółowy opis zakończonej misji kosmicznej *Cassini*. W części czwartej znajdziemy jedenaście przyczynków naukowych, prezentowanych głównie podczas IX Konferencji Naukowej Młodych „Astrophisica Nova”. Na szczególną uwagę zasługuje piosenka autorstwa prof. Virginii Trimble, stworzona na okoliczność uhonorowania Noblem pierwszych detekcji fal grawitacyjnych.

Niniejszy, już czternasty, tom kalendarza powstał wspólnym wysiłkiem autorów, redaktorów i recenzentów. Jest dostępny w formie książkowej i elektronicznej (<http://www.astronomianova.org/publikacje>). CKA z roku na rok staje się coraz mniej częstochowski, a coraz bardziej ogólny. Stał się już podstawowym wydawnictwem AN, która zatacza swoim działaniem coraz szersze kręgi. Bieżący tom został dofinansowany przez MNSW, jako Działanie Upowszechniające Naukę (DUN), kwotą 11400 złotych. Dzięki temu trafia nieodpłatnie do wielu czytelników, w tym i do autorów przyczynków.

* * *

W obliczeniach wykorzystujących położenie geograficzne Częstochowy przyjęto, że długość i szerokość geograficzna wynoszą odpowiednio:

$$\lambda = \text{E } 19^{\circ} 07' = -1^{\text{h}}16^{\text{m}}28^{\text{s}} \quad \text{i} \quad \varphi = \text{N } 50^{\circ} 49' = +50^{\circ}.8166(6)$$

W obliczeniach wykorzystujących położenie geograficzne Obserwatorium Astronomicznego Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim przyjęto, że długość i szerokość geograficzna wynoszą odpowiednio:

$$\lambda = \text{E } 21^{\circ} 05' = -1^{\text{h}}24^{\text{m}}20^{\text{s}} \quad \text{i} \quad \varphi = \text{N } 49^{\circ} 47' = +49^{\circ}.7833(3)$$

Przyjęto strefę czasową = UT +1^h

Uwaga: W okresie obowiązywania w Polsce czasu letniego (wschodnioeuropejskiego) czasy urzędowe podane w tabelach: 1, 2, 3, 5, 6 i 7 są zaniżone o jedną godzinę w stosunku do tego, co pokazują zegarki.

Mniej oczywiste skróty:

AA – Astronomy & Astrophysics

AJD – Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie

AJ – Astronomical Journal

AN – Stowarzyszenie Astronomia Nova

ApJ – Astrophysical Journal

ApJSS – Astrophysical Journal Supplement Series

CFT PAN – Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk

CKA2015 – Częstochowski Kalendarz Astronomiczny na rok 2015

ESA – Europejska Agencja Kosmiczna

ESTEC – European Space Research and Technology Centre

MNRAS – Monthly Notices of Royal Astronomical Society

OAKJ – Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi

OAUJ – Obserwatorium Astronomiczne UJ w Krakowie

PTA – Polskie Towarzystwo Astronomiczne

PTMA – Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii

UT – czas uniwersalny

*„Wszystko ma swój czas i jest wyznaczona godzina na wszystkie sprawy pod niebem”
(Eklezjasta 3,1)*

Kalendarz na rok 2018

W kolumnach podano: dzień miesiąca (DM), dzień tygodnia (DT), kolejny dzień roku (DR) oraz uwagi.

Styczeń			
Rozbudź w sobie gwiazdną duszę			
Młodzież z Łańcuta			
DM	DT	DR	Uwagi (Zjawiska/święta/rocznice/zdarzenia) Godziny w nawiasach podano w czasie uniwersalnym (UT)
1	poniedziałek	1	Maksymalna (23° W) elongacja Merkurego (20), Księżyc w perygeum (22)
2	wtorek	2	Pełnia Księżyc (02)
3	środa	3	Ziemia w peryhelium (06)
4	czwartek	4	
5	piątek	5	Regulus 0°.9 S od Księżyc (08)
6	sobota	6	
7	niedziela	7	Mars 0°.2 S od Jowisza (04)
8	poniedziałek	8	Ostatnia kwadra Księżyc (22)
9	wtorek	9	Górna koniunkcja Wenus (07), Pluton w koniunkcji ze Słońcem (10)
10	środa	10	
11	czwartek	11	Jowisz 4° S od Księżyc (06), Mars 5° S od Księżyc
12	piątek	12	Vesta 0°.4 N od Księżyc (04)
13	sobota	13	Merkury 0°.6 S od Saturna(07)
14	niedziela	14	
15	poniedziałek	15	Księżyc w apogeum (02), Saturn 3° S od Księżyc (02), Merkury 3° S od Księżyc (07)
16	wtorek	16	
17	środa	17	Nów Księżyc (02)
18	czwartek	18	
19	piątek	19	
20	sobota	20	Neptun 1°.6 N od Księżyc (20)
21	niedziela	21	
22	poniedziałek	22	
23	wtorek	23	
24	środa	24	Uran 5° N od Księżyc (01), pierwsza kwadra Księżyc (22)
25	czwartek	25	
26	piątek	26	
27	sobota	27	Aldebaran 0°.7 S od Księżyc (11)
28	niedziela	28	
29	poniedziałek	29	
30	wtorek	30	Księżyc w perygeum (10)
31	środa	31	Pełnia Księżyc (13), zaćmienie Księżyc

Luty

Więcej cenię znalezienie choćby drobnej prawdy, niż długie rozważania nad najdonioślejszymi zagadnieniami bez dotarcia do żadnej prawdy

Galileusz

DM	DT	DR	Uwagi
1	czwartek	32	Regulus 1° 0' S od Księżyca (19)
2	piątek	33	
3	sobota	34	
4	niedziela	35	
5	poniedziałek	36	
6	wtorek	37	
7	środa	38	Ostatnia kwadra Księżyca (16), Jowisz 4° S od Księżyca (20)
8	czwartek	39	
9	piątek	40	Mars 5° N od Księżyca (05), Vesta 0° 9' N od Księżyca (13)
10	sobota	41	Mars 5° N od Antaresa (15)
11	niedziela	42	Księżyc w apogeum (14), Saturn 2° S od Księżyca (15)
12	poniedziałek	43	
13	wtorek	44	
14	środa	45	Juno w koniunkcji ze Słońcem (11) <i>Popielec</i>
15	czwartek	46	Nów Księżyca (21), zaćmienie Słońca
16	piątek	47	
17	sobota	48	Górna koniunkcja Merkurego (12)
18	niedziela	49	
19	poniedziałek	50	
20	wtorek	51	Uran 5° N od Księżyca (08)
21	środa	52	
22	czwartek	53	
23	piątek	54	Pierwsza kwadra Księżyca (08), Aldebaran 0° 7' S od Księżyca (18)
24	sobota	55	
25	niedziela	56	
26	poniedziałek	57	
27	wtorek	58	Księżyc w perygeum (15)
28	środa	59	

Marzec

**Przetrwanie gatunku ludzkiego zależy od jego zdolności do odkrywania
nowych miejsc zamieszkania we Wszechświecie**

Stephen Hawking

DM	DT	DR	Uwagi
1	czwartek	60	Regulus 0°.9 S od Księżycy (06)
2	piątek	61	Pełnia Księżycy (01)
3	sobota	62	
4	niedziela	63	Neptun w koniunkcji ze Słońcem (14)
5	poniedziałek	64	Merkury 1°.4 N od Wenus (18)
6	wtorek	65	
7	środa	66	
8	czwartek	67	
9	piątek	68	Ostatnia kwadra Księżycy (11)
10	sobota	69	Mars 4° S od Księżycy (01)
11	niedziela	70	Saturn 2° S od Księżycy (02), Księżyc w apogeum (09)
12	poniedziałek	71	
13	wtorek	72	
14	środa	73	
15	czwartek	74	Maksymalna (18° E) elongacja Merkurego (15)
16	piątek	75	
17	sobota	76	Nów Księżycy (13)
18	niedziela	77	Merkury 4° N od Wenus (01), Merkury 8° N od Księżycy (18), Venus 4° N od Księżycy (19)
19	poniedziałek	78	Uran 5° N od Księżycy (16)
20	wtorek	79	Początek astronomicznej wiosny (16:15)
21	środa	80	
22	czwartek	81	Aldebaran 0°.9 S od Księżycy
23	piątek	82	
24	sobota	83	Pierwsza kwadra Księżycy (16)
25	niedziela	84	<i>Niedziela Palmowa</i>
26	poniedziałek	85	Księżyc w perygeum (17)
27	wtorek	86	
28	środa	87	Regulus 1°.0 S od Księżycy (14)
29	czwartek	88	
30	piątek	89	
31	sobota	90	Pełnia Księżycy (13)

Kwiecień

Móglbym przemierzać kosmos bez końca

Jurij Gagarin

DM	DT	DR	Uwagi
1	niedziela	91	Dolna koniunkcja Merkurego (18) <i>Wielkanoc</i>
2	poniedziałek	92	Mars 1°.3 S od Saturna (12)
3	wtorek	93	Jowisz 4° S od Księżyca (14)
4	środa	94	
5	czwartek	95	
6	piątek	96	
7	sobota	97	Saturn 1°.9 S od Księżyca (13), Mars 3° S od Księżyca (18)
8	niedziela	98	Księżyc w apogeum (06), ostatnia kwadra Księżyca (07)
9	poniedziałek	99	
10	wtorek	100	
11	środa	101	
12	czwartek	102	Neptun 1°.9 N od Księżyca (23)
13	piątek	103	
14	sobota	104	Merkury 4° N od Księżyca (09)
15	niedziela	105	
16	poniedziałek	106	Nów Księżyca (02)
17	wtorek	107	Wenus 5° N od Księżyca (19)
18	środa	108	Uran w koniunkcji ze Słońcem (14)
19	czwartek	109	Aldebaran 1°.1 S od Księżyca (05)
20	piątek	110	Księżyc w perygeum (15)
21	sobota	111	
22	niedziela	112	Pierwsza kwadra Księżyca (22)
23	poniedziałek	113	
24	wtorek	114	Regulus 1°.2 S od Księżyca (20)
25	środa	115	
26	czwartek	116	
27	piątek	117	
28	sobota	118	
29	niedziela	119	Maksymalna (27° W) elongacja Merkurego (18)
30	poniedziałek	120	Pełnia Księżyca (01), Jowisz 4° S od Księżyca (17)

Maj

Astronomia muzyką inteligencji

Juliusz Słowacki

DM	DT	DR	Uwagi
1	wtorek	121	
2	środa	122	
3	czwartek	123	Wenus 7° N od Aldebarana (17)
4	piątek	124	Saturn 1° 7' S od Księżyca (20)
5	sobota	125	
6	niedziela	126	Księżyc w apogeum (01), Mars 3° S od Księżyca (07)
7	poniedziałek	127	
8	wtorek	128	Ostatnia kwadra Księżyca (02)
9	środa	129	
10	czwartek	130	Neptun 2° N od Księżyca (09)
11	piątek	131	
12	sobota	132	Merkury 2° S od Urana (21)
13	niedziela	133	Uran 5° N od Księżyca (15), Merkury 2° N od Księżyca (17)
14	poniedziałek	134	
15	wtorek	135	Nów Księżyca (12)
16	środa	136	Aldebaran 1° 2' S od Księżyca (13)
17	czwartek	137	Wenus 5° N od Księżyca (18), Księżyc w perygeum (21)
18	piątek	138	
19	sobota	139	
20	niedziela	140	
21	poniedziałek	141	
22	wtorek	142	Pierwsza kwadra Księżyca (04)
23	środa	143	
24	czwartek	144	
25	piątek	145	
26	sobota	146	
27	niedziela	147	Jowisz 4° S od Księżyca (18)
28	poniedziałek	148	
29	wtorek	149	Pełnia Księżyca (14)
30	środa	150	
31	czwartek	151	<i>Boże Ciało</i>

Czerwiec

Praca naukowa formą oddawania czci Bogu

Johannes Kepler

DM	DT	DR	Uwagi
1	piątek	152	Saturn 1°.6 S od Księżyca (01)
2	sobota	153	Księżyc w apogeum (17)
3	niedziela	154	Mars 3° S od Księżyca (12)
4	poniedziałek	155	
5	wtorek	156	
6	środa	157	Górna koniunkcja Merkurego (02), Neptun 2° N od Księżyca (18), ostatnia kwadra Księżyca (19)
7	czwartek	158	
8	piątek	159	
9	sobota	160	Wenus 5° S od Polluxa (01)
10	niedziela	161	Uran 5° N od Księżyca (03)
11	poniedziałek	162	
12	wtorek	163	
13	środa	164	Nów Księżyca (20)
14	czwartek	165	
15	piątek	166	Księżyc w perygeum (00)
16	sobota	167	Wenus 2° N od Księżyca (13)
17	niedziela	168	
18	poniedziałek	169	
19	wtorek	170	
20	środa	171	Pierwsza kwadra Księżyca (11)
21	czwartek	172	Początek astronomicznego lata (10:07)
22	piątek	173	
23	sobota	174	Jowisz 4° S od Księżyca (19)
24	niedziela	175	
25	poniedziałek	176	Merkury 5° S od Polluxa (16)
26	wtorek	177	
27	środa	178	Westa 0°.3 S od Księżyca (09)
28	czwartek	179	Saturn 1°.8 S od Księżyca (04), pełnia Księżyca (05)
29	piątek	180	
30	sobota	181	Księżyc w apogeum (03)

Lipiec

**Zdecydowaliśmy się dokonać tych rzeczy nie dlatego, że są łatwe,
ale właśnie dlatego, że są trudne**

John F. Kennedy

DM	DT	DR	Uwagi
1	niedziela	182	Mars 5° S od Księżycy (02)
2	poniedziałek	183	
3	wtorek	184	
4	środa	185	Neptun 3° N od Księżycy (00)
5	czwartek	186	
6	piątek	187	Ostatnia kwadra Księżycy (08), Ziemia w aphelium (17)
7	sobota	188	Uran 5° N od Księżycy (14)
8	niedziela	189	
9	poniedziałek	190	Wenus 1°.1 N od Regulusa (20)
10	wtorek	191	Aldebaran 1°.1 S od Księżycy (10)
11	środa	192	
12	czwartek	193	Maksymalna (26° E) elongacja Merkurego (05)
13	piątek	194	Nów Księżycy (03), zaćmienie Słońca, Księżyc w perygeum (08)
14	sobota	195	Merkury 2° S od Księżycy (22)
15	niedziela	196	
16	poniedziałek	197	Wenus 1°.6 od Księżycy (04)
17	wtorek	198	
18	środa	199	
19	czwartek	200	Pierwsza kwadra Księżycy (20)
20	piątek	201	
21	sobota	202	Jowisz 4° S od Księżycy (00)
22	niedziela	203	
23	poniedziałek	204	
24	wtorek	205	
25	środa	206	Saturn 2° S od Księżycy (06)
26	czwartek	207	
27	piątek	208	Księżyc w apogeum (06), pełnia Księżycy (20), Mars 7° S od Księżycy (22)
28	sobota	209	
29	niedziela	210	
30	poniedziałek	211	
31	wtorek	212	Neptun 3° N od Księżycy (06), najbliższe zbliżenie Marsa (08)

Sierpień

Niebiosa opowiadają chwałę Boga, a dzieła rąk Jego oznajmia firmament

Ps . 19.

DM	DT	DR	Uwagi
1	środa	213	
2	czwartek	214	
3	piątek	215	Uran 5° N od Księżyca (21)
4	sobota	216	Ostatnia kwadra Księżyca (18), Juno 1°.2 S od Księżyca (23)
5	niedziela	217	
6	poniedziałek	218	Aldebaran 1°.1 S od Księżyca (19)
7	wtorek	219	Pallas w koniunkcji ze Słońcem (13)
8	środa	220	
9	czwartek	221	Dolna koniunkcja Merkurego (02)
10	piątek	222	Księżyc w perygeum (18)
11	sobota	223	Nów Księżyca (10), zaćmienie Słońca
12	niedziela	224	
13	poniedziałek	225	
14	wtorek	226	Wenus 6° S od Księżyca (14)
15	środa	227	
16	czwartek	228	
17	piątek	229	Jowisz 5° S od Księżyca (11), maksymalna (46° E) elongacja Wenus (17)
18	sobota	230	Pierwsza kwadra Księżyca (08)
19	niedziela	231	
20	poniedziałek	232	
21	wtorek	233	Saturn 2° S od Księżyca (10)
22	środa	234	
23	czwartek	235	Księżyc w apogeum (11), Mars 7° S od Księżyca (17)
24	piątek	236	
25	sobota	237	
26	niedziela	238	Pełnia Księżyca (12), maksymalna (18° W) elongacja Merkurego (21)
27	poniedziałek	239	Neptun 2° N od Księżyca (10)
28	wtorek	240	
29	środa	241	
30	czwartek	242	
31	piątek	243	Uran 5° N od Księżyca (03)

Wrzesień

**Żaden pesymista nigdy nie odkrył tajemnic gwiazd,
ani nie żeglował po nieznanym wodach,
ani nie otworzył przed człowiekiem nowego raj**

Helen Keller

DM	DT	DR	Uwagi
1	sobota	244	
2	niedziela	245	Wenus 1°.4 S od Spiki (09)
3	poniedziałek	246	Aldebaran 1°.2 S od Księżycy (02), ostatnia kwadra Księżycy (03)
4	wtorek	247	
5	środa	248	Merkury 1°.0 N od Regulusa (23)
6	czwartek	249	
7	piątek	250	
8	sobota	251	Księżyc w perygeum (01)
9	niedziela	252	Nów Księżycy (18)
10	poniedziałek	253	
11	wtorek	254	
12	środa	255	Wenus 10° S od Księżycy (16)
13	czwartek	256	
14	piątek	257	Jowisz 4° S od Księżycy (02)
15	sobota	258	
16	niedziela	259	Pierwsza kwadra Księżycy (23)
17	poniedziałek	260	Saturn 2° S od Księżycy (16)
18	wtorek	261	
19	środa	262	
20	czwartek	263	Księżyc w apogeum (01), Mars 5° S od Księżycy (07)
21	piątek	264	Górna koniunkcja Merkurego (02), największa iluminacja Wenus (10)
22	sobota	265	
23	niedziela	266	Początek astronomicznej jesieni (01:54), Neptun 2° N od Księżycy (16)
24	poniedziałek	267	
25	wtorek	268	Pełnia Księżycy (03)
26	środa	269	
27	czwartek	270	Uran 5° N od Księżycy (07)
28	piątek	271	
29	sobota	272	
30	niedziela	273	

Październik

Poszukiwanie jest esencją ludzkiego ducha

Frank Borman

DM	DT	DR	Uwagi
1	poniedziałek	274	
2	wtorek	275	Ostatnia kwadra Księżyca (10)
3	środa	276	
4	czwartek	277	
5	piątek	278	Merkury 2° N od Spiki (18), Księżyc w perygeum (22)
6	sobota	279	
7	niedziela	280	Ceres w koniunkcji ze Słońcem (10)
8	poniedziałek	281	
9	wtorek	282	Nów Księżyca (04)
10	środa	283	Wenus 13° S od Księżyca (15)
11	czwartek	284	Jowisz 4° S od Księżyca (21)
12	piątek	285	
13	sobota	286	
14	niedziela	287	Merkury 7° N od Wenus (15)
15	poniedziałek	288	Saturn 1° 8' S od Księżyca (03)
16	wtorek	289	Pierwsza kwadra Księżyca (18)
17	środa	290	Księżyc w apogeum (19)
18	czwartek	291	Mars 1° 9' S od Księżyca (13)
19	piątek	292	
20	sobota	293	Neptun 3° N od Księżyca (22)
21	niedziela	294	
22	poniedziałek	295	
23	wtorek	296	
24	środa	297	Uran 5° N od Księżyca (13), pełnia Księżyca (17)
25	czwartek	298	
26	piątek	299	Dolna koniunkcja Wenus (14)
27	sobota	300	
28	piątek	301	
29	sobota	302	
30	niedziela	303	Merkury 3° S od Jowisza (04)
31	poniedziałek	304	Ostatnia kwadra Księżyca (17), Księżyc w perygeum (20)

Listopad

**Kres jest tak niewidzialny, jak początek.
Wszechświat wyłonił się ze Słowa i do Słowa powraca**

Jan Paweł II

**Jesteśmy wezwani, by stojąc na ziemi, wpatrywać się w niebo. Czy ziemia,
na której stoimy, jest naszym ostatecznym przeznaczeniem?**

Benedykt XVI

DM	DT	DR	Uwagi
1	wtorek	305	
2	środa	306	
3	czwartek	307	
4	piątek	308	
5	sobota	309	
6	niedziela	310	Wenus 10° S od Księżyca (02), maksymalna (23° E) elongacja Merkurego (15)
7	poniedziałek	311	Nów Księżyca (16)
8	wtorek	312	
9	środa	313	Merkury 1° 8' N od Antaresa (06), Merkury 7° S od Księżyca (12)
10	czwartek	314	
11	piątek	315	Saturn 1° 5' S od Księżyca (16)
12	sobota	316	Pluton 0° 9' S od Księżyca (18)
13	niedziela	317	
14	poniedziałek	318	Księżyc w apogeum (16)
15	wtorek	319	Pierwsza kwadra Księżyca (15)
16	środa	320	Mars 1° N od Księżyca (04)
17	czwartek	321	Neptun 3° N od Księżyca (06)
18	piątek	322	
19	sobota	323	
20	niedziela	324	Uran 5° N od Księżyca (20)
21	poniedziałek	325	
22	wtorek	326	
23	środa	327	Pełnia Księżyca (06)
24	czwartek	328	
25	piątek	329	
26	sobota	330	Jowisz w koniunkcji ze Słońcem (07), Księżyc w perygeum (12)
27	piątek	331	Dolna koniunkcja Merkurego (09)
28	sobota	332	
29	niedziela	333	
30	poniedziałek	334	Ostatnia kwadra Księżyca (00)

Grudzień

Ziemia jest kolebką ludzkości, lecz nikt nie pozostaje w kolebce na zawsze
Konstanty Ciołkowski

**Nie podążaj gdzie wiedzie ścieżka;
idź własną drogą i pozostaw ślad**

R. Zaphiropoulos

DM	DT	DR	Uwagi
1	wtorek	335	
2	środa	336	Największa iluminacja Wenus (00)
3	czwartek	337	Wenus 4° S od Księżyca (19)
4	piątek	338	
5	sobota	339	Merkury 1°.9 S od Księżyca (21)
6	niedziela	340	
7	poniedziałek	341	Nów Księżyca (07), Mars 0°.04 N od Neptuna (15)
8	wtorek	342	
9	środa	343	Saturn 1°.1 S od Księżyca (05)
10	czwartek	344	Pluton 0°.7 S od Księżyca (04)
11	piątek	345	
12	sobota	346	Księżyc w apogeum (12)
13	niedziela	347	
14	poniedziałek	348	Neptun 3° N od Księżyca (14), Mars 4° N od Księżyca (23)
15	wtorek	349	Pierwsza kwadra Księżyca (12), maksymalna (21° W) elongacja Merkurego (12)
16	środa	350	
17	czwartek	351	
18	piątek	352	Uran 5° N od Księżyca (04)
19	sobota	353	
20	niedziela	354	Jowisz 5° N od Antaresa (02)
21	poniedziałek	355	Merkury 6° N od Antaresa (08), Merkury 0°.9 N od Jowisza (15), początek astronomicznej zimy (22:23)
22	wtorek	356	Pełnia Księżyca (18)
23	środa	357	
24	czwartek	358	Księżyc w perygeum (10)
25	piątek	359	Boże Narodzenie
26	sobota	360	
27	piątek	361	
28	sobota	362	
29	niedziela	363	Ostatnia kwadra Księżyca (10)
30	poniedziałek	364	
31	poniedziałek	365	

W roku 2018

W nawiasach po dacie podano czas uniwersalny (UT) występowania zjawiska w okrągłych godzinach bądź w godzinach i minutach.

Ziemia w peryhelium: 3 styczeń (06)

Ziemia w aphelium: 6 lipiec (17)

Początek astronomicznej wiosny: 20 marzec (16:15)

Początek astronomicznego lata: 21 czerwiec (10:07)

Początek astronomicznej jesieni: 23 wrzesień (01:54)

Początek astronomicznej zimy: 21 grudzień (22:23)

Data juliańska (JD) = 2458118.5 + d + część dnia licząc od godziny 0 UT
(d - kolejny dzień roku)

1 średnia doba słoneczna = 1.00273790935 średnich dób gwiazdowych
= 24^h03^m56^s.55537 średniego czasu gwiazdowego

1 średnia doba gwiazdowa = 0.99726956633 średnich dób słonecznych
= 23^h56^m04^s.09053 średniego czasu słonecznego

Średnie nachylenie ekliptyki do równika niebieskiego

(ϵ) = 23°.438109 - 0.00000036d (d - dzień roku)

Rok zwrotnikowy = 365^d.242189 = 365^d 05^h 48^m 45^s.2

Rok gwiazdowy = 365^d.256363 = 365^d 06^h 09^m 09^s.8

Rok anomalistyczny = 365^d.259636 = 365^d 06^h 13^m 52^s.6

Rok zaćmieniowy = 346^d.620082 = 346^d 14^h 52^m 55^s.1

Miesiąc synodyczny = 29^d.530589 = 29^d 12^h 44^m 02^s.9

Miesiąc gwiazdowy = 27^d.321662 = 27^d 07^h 43^m 11^s.6

Miesiąc anomalistyczny = 27^d.554550 = 27^d 13^h 18^m 33^s.1

Miesiąc smoczy = 27^d.212221 = 27^d 05^h 05^m 35^s.9

Prędkość kątowna ruchu wirowego Ziemi (ω) = 7.292115 × 10⁻⁵ rad s⁻¹

Zaćmienia:

- 31 I Całkowite zaćmienie Księżyca (Pn. Ameryka, Azja, Australia, środkowa i wschodnia Afryka, zach. Europa)
- 15 II Częściowe zaćmienie Słońca (Pd. Ameryka, Antarktyka, Pacyfik, Ocean Atlantycki)
- 13 VII Częściowe zaćmienie Słońca (Australia, Pd. Pacyfik, Pd. Ocean Indyjski)
- 27 VII Całkowite zaćmienie Księżyca (Australia, Antarktyka, Azja, Afryka, środkowo-wsch. Europa, Pd. Ameryka, Pacyfik, Ocean Indyjski i Atlantycki)
- 11 VIII Częściowe zaćmienie Słońca (Pn. Ameryka, Pn. Europa, Azja, Pn. Ocean Atlantycki)

Konferencja *Astrophisica Nova*

Rzepiennik Biskupi, 28 – 29 września 2018

Organizatorzy:

Stowarzyszenie Astronomia Nova
Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim

Komitet organizacyjny:

Dr Bogdan Wszolek (OAKJ, AN)
Dr Agata Kołodziejczyk (OAKJ, AN)
Dr Agnieszka Kuźmich (CFT PAN, OAUJ, OAKJ, AN)

Zapraszamy zwłaszcza młodych uczonych (magistrantów, doktorantów) do udziału w konferencji i zaprezentowania wyników swoich pierwszych zmagania na polu nauki w zakresie astronomii, astrofizyki, astronautyki oraz dziedzin pokrewnych.

Nie będzie pobierana żadna opłata konferencyjna. Prosi się instytucje macierzyste uczestników konferencji o pokrycie kosztów ich udziału w ramach delegacji. Sugerowany czas na wygłoszenie referatu wynosi 10 minut. Przyczyńki zostaną opublikowane w Częstochowskim Kalendarzu Astronomicznym 2019.

Konferencja odbędzie się w Obserwatorium Astronomicznym Królowej Jadwigi (OAKJ) w Rzepienniku Biskupim. Zgłoszenia udziału, wraz z tematem, rodzajem (referat/plakat) i krótkim abstraktem przyczynku, prosimy kierować na poniższy adres do dnia **30 sierpnia** 2018 roku.

Bogdan Wszolek
Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim
33-163 Rzepiennik Strzyżewski
E-mail: bogdan.wszolek@gmail.com

Konkurs *Urania*

Stowarzyszenie Astronomia Nova i Szkoła Podstawowa nr 3 w Wieruszowie
organizują w roku 2018

XIV Ogólnopolski Konkurs Astronomiczny "URANIA"
dla młodzieży szkół podstawowych i ponadpodstawowych

Konkurs jest 2-etapowy. W etapie I uczniowie rozwiązują zadania o tematyce astronomicznej. Rozwiązania I etapu (parafowane pieczęcią szkoły, do której uczęszcza uczeń) należy dostarczyć do **30 kwietnia 2018** na adres:

Paweł Malik

SP nr 3 im. Jana Pawła II w Wieruszowie
ul. Warszawska 123 a, 98-400 Wieruszów

Zestaw zadań do wykonania w ramach etapu I:

(Potrzebne dane pobrać z odpowiednich źródeł)

1. Przy pomocy *camera obscura* otrzymać na ekranie obraz jakiegoś obiektu i go zarejestrować (sfotografować, odrysować). Opisać szczegółowo realizację zadania.
2. Obserwując Księżyc dwukrotnie w odstępie jednej okrągłej doby (albo np. dwóch lub trzech) określić kierunek i prędkość kątową przemieszczania się Księżyca na tle gwiazd. Dla każdej obserwacji sporządzić szkic sytuacyjny, uwzględniający położenia jaśniejszych gwiazd i Księżyca.
3. Odszukać na rozgwieżdzonym niebie Plejady oraz Mały Wóz i (zachowując proporcje) narysować odręcznie oba te asteryzmy.
4. Średnia odległość Ziemi od Słońca wynosi ok. 150 milionów km. Mars znajduje się około półtora razy dalej od Słońca niż Ziemia. Obliczyć, jaka jest w przybliżeniu minimalna i maksymalna odległość Marsa od Ziemi?
5. Na jaką wysokość wzniesie się ciało wyrzucone pionowo do góry z prędkością początkową 20 m/s: a) na Ziemi, b) na Księżycu?

II etap konkursu zostanie przeprowadzony w SP nr 3 im. Jana Pawła II w Wieruszowie w dniu **6.06.2018 o godzinie 12**. Uczniowie będą rozwiązywać test wielokrotnego wyboru. O zwycięstwie decyduje suma punktów zdobytych w obu etapach. Zwycięzcy konkursu otrzymają dyplomy i nagrody. Warto znać: elementarne pojęcia astronomii sferycznej, prawa Keplera, charakterystyki planet Układu Słonecznego oraz Słońca i Księżyca, zasadę działania lunety astronomicznej, diagram Hertzsprunga–Russella, prawo Hubble'a. Przydatne mogą być również artykuły zawarte w ostatnich numerach czasopisma *Urania–Postępy Astronomii* oraz w *Częstochowskim Kalendarzu Astronomicznym*.

Propozycje literaturowe:

Zeszyty *Uranii–PA* na rok 2017 i 2018.

J.Kreiner, *Astronomia z astrofizyką*, PWN, 1988.

K.Rudnicki, *Astronomia*, dawniejszy podręcznik dla klas maturalnych, WSiP (wiele wydań).

B.Wszolek, *Wprowadzenie do astronomii*, Wyd. AJD w Częstochowie, 2005.

B.Wszolek (red.), *Częstochowski Kalendarz Astronomiczny*.

(wersje elektroniczne trzech ostatnich pozycji są do pobrania ze stron:

www.astronomianova.org i www.ptma.ajd.czyst.pl

Konkurs *Ars Astronomica*

Stowarzyszenie Astronomia Nova i SP nr 3 im. Jana Pawła II w Wieruszowie zapraszają do udziału w VIII Międzynarodowym Konkursie Artystycznym *Ars Astronomica*. W konkursie mogą wziąć udział wszyscy zainteresowani, a zwłaszcza młodzież szkolna i akademicka. Na konkurs można przysyłać wszelkie prace artystyczne o wydźwięku astronomicznym lub astronautycznym. Mogą to być utwory plastyczne, muzyczne, filmowe, literackie i inne. Mile widziane instalacje i wytwory modelarskie. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się prace zbiorowe. Sugeruje się, aby w szkołach przeprowadzić wstępną selekcję prac uczniów i tylko najlepsze wysłać na konkurs. Radzimy również by unikać kłopotliwych dużych formatów prac (problemy z przesyłką i ekspozycją). Dla prac plastycznych optymalnym formatem jest A3. Prace powinny być czytelnie opisane. Na widocznym miejscu i trwale: imię i nazwisko autora (np. w prawych dolnych rogach obrazków), na odwrocie pracy czytelnie (najlepiej na dobrze przyklejonej drukowanej karteczce): imię, nazwisko, adres (e-mail, telefon) oraz wiek autora, imię i nazwisko opiekuna (jeśli jest), szkoła (w przypadku prac szkolnych).

Prace należy dostarczyć **do końca października 2018** roku na adres:

Paweł Malik
SP nr 3 im. Jana Pawła II w Wieruszowie
ul. Warszawska 123 a, 98-400 Wieruszów
(malikpawel@poczta.onet.pl)

Oficjalne ogłoszenie wyników konkursu, połączone z wręczeniem dyplomów i nagród, odbędzie się **15 listopada 2018** roku o godzinie 12:00 w budynku szkolnym w Cieszęcinie k. Wieruszowa (przy radioteleskopie). Dla uniknięcia dalekich podróży, przewiduje się też dodatkowe rozdania w planetarium AJD w Częstochowie oraz w Obserwatorium Astronomicznym Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim. Wszystkich uczestników konkursu prosimy o przybycie, w szczególności tych, którzy zajęli czołowe miejsca. Nieoficjalne ogłoszenie wyników nastąpi około dwa tygodnie wcześniej na stronie internetowej:

www.astronomianova.org

tak by zainteresowani zdążyli zaplanować sobie podróz.

Organizatorzy nie odsyłają dostarczonych prac konkursowych. Najlepsze prace będą nagrodzone i, przy braku sprzeciwu autorów, zostaną wykorzystane dla realizacji różnorodnych celów propagujących astronomię w społeczeństwie. Nie gwarantuje się wydania dyplomów i nagród osobom, które zgłoszą się po odbiór po 15 listopada. W przypadku niemożności osobistego udziału w uroczystości ogłoszenia wyników, należy wysłać kogoś w zastępstwie (nauczyciel, członek rodziny, kolega).

Wyniki poprzedniej edycji konkursu są zamieszczone na wskazanej wyżej stronie internetowej.

Tabele astronomiczne

Bogdan Wszolek

¹Instytut Fizyki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

²Stowarzyszenie Astronomia Nova

³Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim

Tabela 1. Wschody, górowania i zachody Słońca w Częstochowie. W kolumnach podano środkowoeuropejskie czasy występowania zjawisk w godzinach i minutach. Dodatkowo, w nawiasach, podano w stopniach azymuty wschodzącego i zachodzącego Słońca oraz wysokość Słońca w czasie górowania. Azymut podano zgodnie z konwencją liczenia go od punktu kardynalnego horyzontu N w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara.

	wschód		górowanie		zachód			
	h	m °	h	m °	h	m °		
Styczeń							Luty	
1	7	46 (127)	11	47 (s16)	15	48 (233)	1	7 20 (117) 11 57 (s22) 16 35 (244)
2	7	46 (127)	11	48 (s16)	15	50 (233)	2	7 18 (116) 11 57 (s22) 16 37 (244)
3	7	46 (127)	11	48 (s16)	15	51 (233)	3	7 17 (116) 11 57 (s23) 16 39 (245)
4	7	45 (126)	11	48 (s17)	15	52 (234)	4	7 15 (115) 11 57 (s23) 16 40 (245)
5	7	45 (126)	11	49 (s17)	15	53 (234)	5	7 14 (115) 11 58 (s23) 16 42 (246)
6	7	45 (126)	11	49 (s17)	15	54 (234)	6	7 12 (114) 11 58 (s24) 16 44 (246)
7	7	44 (126)	11	50 (s17)	15	55 (234)	7	7 10 (114) 11 58 (s24) 16 46 (247)
8	7	44 (126)	11	50 (s17)	15	57 (235)	8	7 09 (113) 11 58 (s24) 16 47 (247)
9	7	44 (125)	11	51 (s17)	15	58 (235)	9	7 07 (113) 11 58 (s25) 16 49 (248)
10	7	43 (125)	11	51 (s17)	15	59 (235)	10	7 05 (112) 11 58 (s25) 16 51 (248)
11	7	42 (125)	11	51 (s17)	16	01 (235)	11	7 03 (111) 11 58 (s25) 16 53 (249)
12	7	42 (124)	11	52 (s18)	16	02 (236)	12	7 02 (111) 11 58 (s26) 16 55 (249)
13	7	41 (124)	11	52 (s18)	16	04 (236)	13	7 00 (110) 11 58 (s26) 16 56 (250)
14	7	40 (124)	11	53 (s18)	16	05 (236)	14	6 58 (110) 11 58 (s26) 16 58 (250)
15	7	40 (124)	11	53 (s18)	16	07 (237)	15	6 56 (109) 11 58 (s27) 17 00 (251)
16	7	39 (123)	11	53 (s18)	16	08 (237)	16	6 54 (109) 11 58 (s27) 17 02 (252)
17	7	38 (123)	11	54 (s19)	16	10 (237)	17	6 52 (108) 11 58 (s27) 17 03 (252)
18	7	37 (123)	11	54 (s19)	16	11 (238)	18	6 50 (108) 11 57 (s28) 17 05 (253)
19	7	36 (122)	11	54 (s19)	16	13 (238)	19	6 49 (107) 11 57 (s28) 17 07 (253)
20	7	35 (122)	11	55 (s19)	16	15 (238)	20	6 47 (106) 11 57 (s28) 17 09 (254)
21	7	34 (121)	11	55 (s19)	16	16 (239)	21	6 45 (106) 11 57 (s29) 17 10 (254)
22	7	33 (121)	11	55 (s20)	16	18 (239)	22	6 43 (105) 11 57 (s29) 17 12 (255)
23	7	32 (121)	11	55 (s20)	16	19 (240)	23	6 41 (105) 11 57 (s29) 17 14 (256)
24	7	31 (120)	11	56 (s20)	16	21 (240)	24	6 39 (104) 11 57 (s30) 17 16 (256)
25	7	29 (120)	11	56 (s20)	16	23 (240)	25	6 37 (103) 11 57 (s30) 17 17 (257)
26	7	28 (119)	11	56 (s21)	16	25 (241)	26	6 34 (103) 11 56 (s31) 17 19 (257)
27	7	27 (119)	11	56 (s21)	16	26 (241)	27	6 32 (102) 11 56 (s31) 17 21 (258)
28	7	25 (118)	11	56 (s21)	16	28 (242)	28	6 30 (102) 11 56 (s31) 17 23 (259)
29	7	24 (118)	11	57 (s21)	16	30 (242)		
30	7	23 (118)	11	57 (s22)	16	31 (243)		
31	7	21 (117)	11	57 (s22)	16	33 (243)		

Marzec

1	6 28 (101)	11 56 (s32)	17 24 (259)
2	6 26 (100)	11 56 (s32)	17 26 (260)
3	6 24 (100)	11 55 (s32)	17 28 (260)
4	6 22 (99)	11 55 (s33)	17 30 (261)
5	6 20 (99)	11 55 (s33)	17 31 (262)
6	6 18 (98)	11 55 (s34)	17 33 (262)
7	6 15 (97)	11 55 (s34)	17 35 (263)
8	6 13 (97)	11 54 (s34)	17 36 (264)
9	6 11 (96)	11 54 (s35)	17 38 (264)
10	6 09 (96)	11 54 (s35)	17 40 (265)
11	6 07 (95)	11 54 (s36)	17 41 (265)
12	6 04 (94)	11 53 (s36)	17 43 (266)
13	6 02 (94)	11 53 (s36)	17 45 (267)
14	6 00 (93)	11 53 (s37)	17 46 (267)
15	5 58 (92)	11 52 (s37)	17 48 (268)
16	5 56 (92)	11 52 (s38)	17 50 (269)
17	5 53 (91)	11 52 (s38)	17 51 (269)
18	5 51 (91)	11 52 (s38)	17 53 (270)
19	5 49 (90)	11 51 (s39)	17 55 (270)
20	5 47 (89)	11 51 (s39)	17 56 (271)
21	5 45 (89)	11 51 (s39)	17 58 (272)
22	5 42 (88)	11 50 (s40)	18 00 (272)
23	5 40 (87)	11 50 (s40)	18 01 (273)
24	5 38 (87)	11 50 (s41)	18 03 (274)
25	5 36 (86)	11 50 (s41)	18 04 (274)
26	5 33 (86)	11 49 (s41)	18 06 (275)
27	5 31 (85)	11 49 (s42)	18 08 (275)
28	5 29 (84)	11 49 (s42)	18 09 (276)
29	5 27 (84)	11 48 (s43)	18 11 (277)
30	5 24 (83)	11 48 (s43)	18 13 (277)
31	5 22 (82)	11 48 (s43)	18 14 (278)

Kwiecień

1	5 20 (82)	11 47 (s44)	18 16 (279)
2	5 18 (81)	11 47 (s44)	18 17 (279)
3	5 16 (81)	11 47 (s45)	18 19 (280)
4	5 13 (80)	11 47 (s45)	18 21 (280)
5	5 11 (79)	11 46 (s45)	18 22 (281)
6	5 09 (79)	11 46 (s46)	18 24 (282)
7	5 07 (78)	11 46 (s46)	18 26 (282)
8	5 05 (78)	11 45 (s46)	18 27 (283)
9	5 02 (77)	11 45 (s47)	18 29 (283)
10	5 00 (76)	11 45 (s47)	18 30 (284)
11	4 58 (76)	11 45 (s48)	18 32 (285)
12	4 56 (75)	11 44 (s48)	18 34 (285)
13	4 54 (75)	11 44 (s48)	18 35 (286)
14	4 52 (74)	11 44 (s49)	18 37 (286)
15	4 50 (73)	11 44 (s49)	18 39 (287)
16	4 48 (73)	11 43 (s49)	18 40 (287)
17	4 45 (72)	11 43 (s50)	18 42 (288)
18	4 43 (72)	11 43 (s50)	18 43 (289)
19	4 41 (71)	11 43 (s50)	18 45 (289)
20	4 39 (71)	11 42 (s51)	18 47 (290)
21	4 37 (70)	11 42 (s51)	18 48 (290)
22	4 35 (69)	11 42 (s51)	18 50 (291)
23	4 33 (69)	11 42 (s52)	18 52 (291)
24	4 31 (68)	11 42 (s52)	18 53 (292)
25	4 29 (68)	11 42 (s52)	18 55 (293)
26	4 27 (67)	11 41 (s53)	18 56 (293)
27	4 25 (67)	11 41 (s53)	18 58 (294)
28	4 24 (66)	11 41 (s53)	19 00 (294)
29	4 22 (66)	11 41 (s54)	19 01 (295)
30	4 20 (65)	11 41 (s54)	19 03 (295)

Maj

1	4 18 (65)	11 41 (s54)	19 04 (296)
2	4 16 (64)	11 41 (s55)	19 06 (296)
3	4 14 (64)	11 40 (s55)	19 08 (297)
4	4 13 (63)	11 40 (s55)	19 09 (297)
5	4 11 (63)	11 40 (s55)	19 11 (298)
6	4 09 (62)	11 40 (s56)	19 12 (298)
7	4 07 (62)	11 40 (s56)	19 14 (299)
8	4 06 (61)	11 40 (s56)	19 15 (299)
9	4 04 (61)	11 40 (s57)	19 17 (300)
10	4 02 (60)	11 40 (s57)	19 18 (300)
11	4 01 (60)	11 40 (s57)	19 20 (300)
12	3 59 (59)	11 40 (s57)	19 21 (301)
13	3 58 (59)	11 40 (s58)	19 23 (301)
14	3 56 (59)	11 40 (s58)	19 24 (302)
15	3 55 (58)	11 40 (s58)	19 26 (302)
16	3 53 (58)	11 40 (s58)	19 27 (303)
17	3 52 (57)	11 40 (s59)	19 29 (303)
18	3 51 (57)	11 40 (s59)	19 30 (303)
19	3 49 (56)	11 40 (s59)	19 32 (304)
20	3 48 (56)	11 40 (s59)	19 33 (304)
21	3 47 (56)	11 40 (s59)	19 34 (305)
22	3 46 (55)	11 40 (s60)	19 36 (305)
23	3 44 (55)	11 40 (s60)	19 37 (305)
24	3 43 (55)	11 40 (s60)	19 38 (306)
25	3 42 (54)	11 40 (s60)	19 40 (306)
26	3 41 (54)	11 41 (s60)	19 41 (306)
27	3 40 (54)	11 41 (s61)	19 42 (306)
28	3 39 (53)	11 41 (s61)	19 43 (307)
29	3 38 (53)	11 41 (s61)	19 44 (307)
30	3 37 (53)	11 41 (s61)	19 45 (307)
31	3 36 (53)	11 41 (s61)	19 47 (308)

Czerwiec

1	3 36 (52)	11 41 (s61)	19 48 (308)
2	3 35 (52)	11 41 (s61)	19 49 (308)
3	3 34 (52)	11 42 (s62)	19 50 (308)
4	3 34 (52)	11 42 (s62)	19 51 (309)
5	3 33 (51)	11 42 (s62)	19 52 (309)
6	3 32 (51)	11 42 (s62)	19 52 (309)
7	3 32 (51)	11 42 (s62)	19 53 (309)
8	3 31 (51)	11 43 (s62)	19 54 (309)
9	3 31 (51)	11 43 (s62)	19 55 (309)
10	3 31 (51)	11 43 (s62)	19 56 (310)
11	3 30 (50)	11 43 (s62)	19 56 (310)
12	3 30 (50)	11 43 (s62)	19 57 (310)
13	3 30 (50)	11 44 (s62)	19 58 (310)
14	3 30 (50)	11 44 (s62)	19 58 (310)
15	3 30 (50)	11 44 (s62)	19 59 (310)
16	3 30 (50)	11 44 (s63)	19 59 (310)
17	3 30 (50)	11 44 (s63)	19 59 (310)
18	3 30 (50)	11 45 (s63)	20 00 (310)
19	3 30 (50)	11 45 (s63)	20 00 (310)
20	3 30 (50)	11 45 (s63)	20 00 (310)
21	3 30 (50)	11 45 (s63)	20 01 (310)
22	3 30 (50)	11 46 (s63)	20 01 (310)
23	3 30 (50)	11 46 (s63)	20 01 (310)
24	3 31 (50)	11 46 (s63)	20 01 (310)
25	3 31 (50)	11 46 (s63)	20 01 (310)
26	3 32 (50)	11 46 (s63)	20 01 (310)
27	3 32 (50)	11 47 (s62)	20 01 (310)
28	3 32 (50)	11 47 (s62)	20 01 (310)
29	3 33 (50)	11 47 (s62)	20 01 (310)
30	3 34 (50)	11 47 (s62)	20 00 (310)

Lipiec

1	3 34 (50)	11 47 (s62)	20 00 (310)
2	3 35 (50)	11 48 (s62)	20 00 (309)
3	3 36 (51)	11 48 (s62)	19 59 (309)
4	3 36 (51)	11 48 (s62)	19 59 (309)
5	3 37 (51)	11 48 (s62)	19 59 (309)
6	3 38 (51)	11 48 (s62)	19 58 (309)
7	3 39 (51)	11 48 (s62)	19 57 (309)
8	3 40 (51)	11 49 (s62)	19 57 (308)
9	3 41 (52)	11 49 (s62)	19 56 (308)
10	3 42 (52)	11 49 (s61)	19 55 (308)
11	3 43 (52)	11 49 (s61)	19 55 (308)
12	3 44 (52)	11 49 (s61)	19 54 (307)
13	3 45 (53)	11 49 (s61)	19 53 (307)
14	3 46 (53)	11 49 (s61)	19 52 (307)
15	3 47 (53)	11 50 (s61)	19 51 (307)
16	3 48 (54)	11 50 (s61)	19 50 (306)
17	3 49 (54)	11 50 (s60)	19 49 (306)
18	3 51 (54)	11 50 (s60)	19 48 (306)
19	3 52 (54)	11 50 (s60)	19 47 (305)
20	3 53 (55)	11 50 (s60)	19 46 (305)
21	3 54 (55)	11 50 (s60)	19 45 (305)
22	3 56 (55)	11 50 (s59)	19 43 (304)
23	3 57 (56)	11 50 (s59)	19 42 (304)
24	3 58 (56)	11 50 (s59)	19 41 (304)
25	4 00 (57)	11 50 (s59)	19 40 (303)
26	4 01 (57)	11 50 (s59)	19 38 (303)
27	4 02 (57)	11 50 (s58)	19 37 (302)
28	4 04 (58)	11 50 (s58)	19 35 (302)
29	4 05 (58)	11 50 (s58)	19 34 (302)
30	4 07 (59)	11 50 (s58)	19 32 (301)
31	4 08 (59)	11 50 (s57)	19 31 (301)

Sierpień

1	4 10 (59)	11 50 (s57)	19 29 (300)
2	4 11 (60)	11 50 (s57)	19 28 (300)
3	4 13 (60)	11 50 (s57)	19 26 (299)
4	4 14 (61)	11 50 (s56)	19 24 (299)
5	4 15 (61)	11 50 (s56)	19 23 (298)
6	4 17 (62)	11 49 (s56)	19 21 (298)
7	4 18 (62)	11 49 (s56)	19 19 (297)
8	4 20 (63)	11 49 (s55)	19 17 (297)
9	4 22 (63)	11 49 (s55)	19 16 (297)
10	4 23 (64)	11 49 (s55)	19 14 (296)
11	4 25 (64)	11 49 (s54)	19 12 (296)
12	4 26 (65)	11 49 (s54)	19 10 (295)
13	4 28 (65)	11 48 (s54)	19 08 (294)
14	4 29 (66)	11 48 (s53)	19 06 (294)
15	4 31 (66)	11 48 (s53)	19 04 (293)
16	4 32 (67)	11 48 (s53)	19 02 (293)
17	4 34 (67)	11 48 (s53)	19 00 (292)
18	4 35 (68)	11 47 (s52)	18 58 (292)
19	4 37 (68)	11 47 (s52)	18 56 (291)
20	4 38 (69)	11 47 (s52)	18 54 (291)
21	4 40 (69)	11 47 (s51)	18 52 (290)
22	4 41 (70)	11 46 (s51)	18 50 (290)
23	4 43 (71)	11 46 (s51)	18 48 (289)
24	4 45 (71)	11 46 (s50)	18 46 (289)
25	4 46 (72)	11 46 (s50)	18 44 (288)
26	4 48 (72)	11 45 (s50)	18 42 (287)
27	4 49 (73)	11 45 (s49)	18 40 (287)
28	4 51 (73)	11 45 (s49)	18 38 (286)
29	4 52 (74)	11 44 (s48)	18 36 (286)
30	4 54 (75)	11 44 (s48)	18 33 (285)
31	4 55 (75)	11 44 (s48)	18 31 (285)

Wrzesień

1	4 57 (76)	11 44 (s47)	18 29 (284)
2	4 58 (76)	11 43 (s47)	18 27 (283)
3	5 00 (77)	11 43 (s47)	18 25 (283)
4	5 02 (77)	11 43 (s46)	18 23 (282)
5	5 03 (78)	11 42 (s46)	18 20 (282)
6	5 05 (79)	11 42 (s46)	18 18 (281)
7	5 06 (79)	11 42 (s45)	18 16 (280)
8	5 08 (80)	11 41 (s45)	18 14 (280)
9	5 09 (80)	11 41 (s44)	18 11 (279)
10	5 11 (81)	11 41 (s44)	18 09 (279)
11	5 12 (82)	11 40 (s44)	18 07 (278)
12	5 14 (82)	11 40 (s43)	18 05 (277)
13	5 15 (83)	11 39 (s43)	18 02 (277)
14	5 17 (84)	11 39 (s43)	18 00 (276)
15	5 19 (84)	11 39 (s42)	17 58 (276)
16	5 20 (85)	11 38 (s42)	17 56 (275)
17	5 22 (85)	11 38 (s41)	17 53 (274)
18	5 23 (86)	11 38 (s41)	17 51 (274)
19	5 25 (87)	11 37 (s41)	17 49 (273)
20	5 26 (87)	11 37 (s40)	17 47 (272)
21	5 28 (88)	11 37 (s40)	17 44 (272)
22	5 29 (88)	11 36 (s39)	17 42 (271)
23	5 31 (89)	11 36 (s39)	17 40 (271)
24	5 33 (90)	11 36 (s39)	17 38 (270)
25	5 34 (90)	11 35 (s38)	17 35 (269)
26	5 36 (91)	11 35 (s38)	17 33 (269)
27	5 37 (92)	11 35 (s37)	17 31 (268)
28	5 39 (92)	11 34 (s37)	17 29 (268)
29	5 40 (93)	11 34 (s37)	17 26 (267)
30	5 42 (93)	11 34 (s36)	17 24 (266)

Październik

1	5 44 (94)	11 33 (s36)	17 22 (266)
2	5 45 (95)	11 33 (s36)	17 20 (265)
3	5 47 (95)	11 33 (s35)	17 18 (264)
4	5 48 (96)	11 32 (s35)	17 15 (264)
5	5 50 (96)	11 32 (s34)	17 13 (263)
6	5 52 (97)	11 32 (s34)	17 11 (263)
7	5 53 (98)	11 31 (s34)	17 09 (262)
8	5 55 (98)	11 31 (s33)	17 07 (261)
9	5 56 (99)	11 31 (s33)	17 04 (261)
10	5 58 (99)	11 31 (s32)	17 02 (260)
11	6 00 (100)	11 30 (s32)	17 00 (260)
12	6 01 (101)	11 30 (s32)	16 58 (259)
13	6 03 (101)	11 30 (s31)	16 56 (258)
14	6 05 (102)	11 30 (s31)	16 54 (258)
15	6 06 (102)	11 29 (s31)	16 52 (257)
16	6 08 (103)	11 29 (s30)	16 50 (257)
17	6 10 (104)	11 29 (s30)	16 47 (256)
18	6 11 (104)	11 29 (s30)	16 45 (256)
19	6 13 (105)	11 29 (s29)	16 43 (255)
20	6 15 (105)	11 28 (s29)	16 41 (254)
21	6 16 (106)	11 28 (s28)	16 39 (254)
22	6 18 (107)	11 28 (s28)	16 37 (253)
23	6 20 (107)	11 28 (s28)	16 35 (253)
24	6 21 (108)	11 28 (s27)	16 33 (252)
25	6 23 (108)	11 28 (s27)	16 32 (251)
26	6 25 (109)	11 28 (s27)	16 30 (251)
27	6 26 (109)	11 27 (s26)	16 28 (250)
28	6 28 (110)	11 27 (s26)	16 26 (250)
29	6 30 (110)	11 27 (s26)	16 24 (249)
30	6 31 (111)	11 27 (s25)	16 22 (249)
31	6 33 (112)	11 27 (s25)	16 20 (248)

Listopad

1	6 35 (112)	11 27 (s25)	16 19 (248)
2	6 37 (113)	11 27 (s24)	16 17 (247)
3	6 38 (113)	11 27 (s24)	16 15 (247)
4	6 40 (114)	11 27 (s24)	16 13 (246)
5	6 42 (114)	11 27 (s23)	16 12 (246)
6	6 43 (115)	11 27 (s23)	16 10 (245)
7	6 45 (115)	11 27 (s23)	16 09 (245)
8	6 47 (116)	11 27 (s23)	16 07 (244)
9	6 49 (116)	11 27 (s22)	16 05 (244)
10	6 50 (117)	11 27 (s22)	16 04 (243)
11	6 52 (117)	11 28 (s22)	16 02 (243)
12	6 54 (118)	11 28 (s21)	16 01 (242)
13	6 55 (118)	11 28 (s21)	16 00 (242)
14	6 57 (118)	11 28 (s21)	15 58 (241)
15	6 59 (119)	11 28 (s21)	15 57 (241)
16	7 00 (119)	11 28 (s20)	15 56 (240)
17	7 02 (120)	11 28 (s20)	15 54 (240)
18	7 04 (120)	11 29 (s20)	15 53 (240)
19	7 05 (121)	11 29 (s20)	15 52 (239)
20	7 07 (121)	11 29 (s20)	15 51 (239)
21	7 09 (121)	11 29 (s19)	15 50 (238)
22	7 10 (122)	11 30 (s19)	15 49 (238)
23	7 12 (122)	11 30 (s19)	15 48 (238)
24	7 13 (123)	11 30 (s19)	15 47 (237)
25	7 15 (123)	11 30 (s18)	15 46 (237)
26	7 16 (123)	11 31 (s18)	15 45 (237)
27	7 18 (124)	11 31 (s18)	15 44 (236)
28	7 19 (124)	11 31 (s18)	15 43 (236)
29	7 21 (124)	11 32 (s18)	15 43 (236)
30	7 22 (124)	11 32 (s18)	15 42 (235)

Grudzień

1	7 23 (125)	11 33 (s17)	15 41 (235)
2	7 25 (125)	11 33 (s17)	15 41 (235)
3	7 26 (125)	11 33 (s17)	15 40 (235)
4	7 27 (126)	11 34 (s17)	15 40 (234)
5	7 29 (126)	11 34 (s17)	15 39 (234)
6	7 30 (126)	11 35 (s17)	15 39 (234)
7	7 31 (126)	11 35 (s17)	15 39 (234)
8	7 32 (126)	11 35 (s17)	15 38 (234)
9	7 33 (127)	11 36 (s16)	15 38 (233)
10	7 34 (127)	11 36 (s16)	15 38 (233)
11	7 35 (127)	11 37 (s16)	15 38 (233)
12	7 36 (127)	11 37 (s16)	15 38 (233)
13	7 37 (127)	11 38 (s16)	15 38 (233)
14	7 38 (127)	11 38 (s16)	15 38 (233)
15	7 39 (127)	11 39 (s16)	15 38 (233)
16	7 40 (127)	11 39 (s16)	15 38 (232)
17	7 41 (128)	11 40 (s16)	15 38 (232)
18	7 41 (128)	11 40 (s16)	15 39 (232)
19	7 42 (128)	11 41 (s16)	15 39 (232)
20	7 43 (128)	11 41 (s16)	15 39 (232)
21	7 43 (128)	11 42 (s16)	15 40 (232)
22	7 44 (128)	11 42 (s16)	15 40 (232)
23	7 44 (128)	11 43 (s16)	15 41 (232)
24	7 45 (128)	11 43 (s16)	15 42 (232)
25	7 45 (128)	11 44 (s16)	15 42 (232)
26	7 45 (128)	11 44 (s16)	15 43 (232)
27	7 45 (128)	11 45 (s16)	15 44 (233)
28	7 46 (127)	11 45 (s16)	15 45 (233)
29	7 46 (127)	11 46 (s16)	15 45 (233)
30	7 46 (127)	11 46 (s16)	15 46 (233)
31	7 46 (127)	11 46 (s16)	15 47 (233)

Tabela 2. Świty i zmierny w Częstochowie. Świt cywilny (żeglarski, astronomiczny) rozpoczyna się wtedy, gdy przed wschodem Słońca środek jego tarczy zanurzony jest na głębokość 6° (12°, 18°) względem horyzontu astronomicznego. Wszystkie świty kończą się jednocześnie o wschodzie Słońca. Zmierny rozpoczynają się o zachodzie Słońca. Zmiern cywilny (żeglarski, astronomiczny) kończy się w chwili, gdy po zachodzie Słońca środek jego tarczy zanurzy się na głębokość 6° (12°, 18°) pod horyzont. W kolumnach tabeli podano momenty rozpoczęcia świtów i zakończenia zmiernów.

	cywilny		żeglarski		astronomiczny		
	h	m	h	m	h	m	
Styczeń							Luty
1	7 07	16 28	6 25	17 10	5 45	17 50	1 6 44 17 11 6 05 17 50 5 26 18 29
2	7 07	16 29	6 25	17 11	5 45	17 51	2 6 43 17 12 6 03 17 52 5 25 18 30
3	7 07	16 30	6 25	17 12	5 45	17 52	3 6 41 17 14 6 02 17 53 5 24 18 32
4	7 06	16 31	6 24	17 13	5 45	17 53	4 6 40 17 16 6 01 17 55 5 22 18 33
5	7 06	16 32	6 24	17 14	5 44	17 54	5 6 39 17 17 5 59 17 56 5 21 18 35
6	7 06	16 33	6 24	17 15	5 44	17 55	6 6 37 17 19 5 58 17 58 5 20 18 36
7	7 06	16 34	6 24	17 16	5 44	17 56	7 6 35 17 21 5 56 18 00 5 18 18 38
8	7 05	16 35	6 24	17 17	5 44	17 57	8 6 34 17 22 5 55 18 01 5 17 18 39
9	7 05	16 36	6 23	17 18	5 44	17 58	9 6 32 17 24 5 53 18 03 5 15 18 41
10	7 05	16 38	6 23	17 19	5 43	17 59	10 6 31 17 26 5 52 18 04 5 14 18 43
11	7 04	16 39	6 23	17 21	5 43	18 00	11 6 29 17 27 5 50 18 06 5 12 18 44
12	7 04	16 40	6 22	17 22	5 43	18 01	12 6 27 17 29 5 49 18 08 5 11 18 46
13	7 03	16 42	6 22	17 23	5 42	18 03	13 6 26 17 31 5 47 18 09 5 09 18 47
14	7 03	16 43	6 21	17 24	5 42	18 04	14 6 24 17 32 5 45 18 11 5 07 18 49
15	7 02	16 44	6 21	17 26	5 41	18 05	15 6 22 17 34 5 44 18 12 5 06 18 51
16	7 01	16 46	6 20	17 27	5 41	18 06	16 6 20 17 36 5 42 18 14 5 04 18 52
17	7 00	16 47	6 19	17 28	5 40	18 08	17 6 19 17 37 5 40 18 16 5 02 18 54
18	7 00	16 49	6 19	17 30	5 40	18 09	18 6 17 17 39 5 38 18 17 5 00 18 55
19	6 59	16 50	6 18	17 31	5 39	18 10	19 6 15 17 41 5 37 18 19 4 59 18 57
20	6 58	16 52	6 17	17 32	5 38	18 11	20 6 13 17 42 5 35 18 21 4 57 18 59
21	6 57	16 53	6 16	17 34	5 37	18 13	21 6 11 17 44 5 33 18 22 4 55 19 00
22	6 56	16 55	6 16	17 35	5 37	18 14	22 6 09 17 46 5 31 18 24 4 53 19 02
23	6 55	16 56	6 15	17 37	5 36	18 16	23 6 07 17 47 5 29 18 26 4 51 19 04
24	6 54	16 58	6 14	17 38	5 35	18 17	24 6 05 17 49 5 27 18 27 4 49 19 05
25	6 53	16 59	6 13	17 40	5 34	18 18	25 6 03 17 51 5 25 18 29 4 47 19 07
26	6 52	17 01	6 12	17 41	5 33	18 20	26 6 01 17 52 5 23 18 31 4 45 19 09
27	6 51	17 02	6 11	17 43	5 32	18 21	27 5 59 17 54 5 21 18 32 4 43 19 10
28	6 49	17 04	6 10	17 44	5 31	18 23	28 5 57 17 56 5 19 18 34 4 41 19 12
29	6 48	17 06	6 08	17 46	5 30	18 24	
30	6 47	17 07	6 07	17 47	5 29	18 26	
31	6 46	17 09	6 06	17 49	5 27	18 27	

Marzec

1	5 55	17 57	5 17	18 35	4 39	19 14
2	5 53	17 59	5 15	18 37	4 37	19 16
3	5 51	18 01	5 13	18 39	4 35	19 17
4	5 49	18 02	5 11	18 41	4 33	19 19
5	5 47	18 04	5 09	18 42	4 31	19 21
6	5 45	18 06	5 07	18 44	4 28	19 23
7	5 43	18 07	5 05	18 46	4 26	19 24
8	5 40	18 09	5 02	18 47	4 24	19 26
9	5 38	18 11	5 00	18 49	4 22	19 28
10	5 36	18 12	4 58	18 51	4 19	19 30
11	5 34	18 14	4 56	18 52	4 17	19 31
12	5 32	18 16	4 54	18 54	4 15	19 33
13	5 30	18 17	4 51	18 56	4 12	19 35
14	5 27	18 19	4 49	18 57	4 10	19 37
15	5 25	18 21	4 47	18 59	4 08	19 39
16	5 23	18 22	4 45	19 01	4 05	19 41
17	5 21	18 24	4 42	19 03	4 03	19 43
18	5 18	18 26	4 40	19 04	4 00	19 44
19	5 16	18 27	4 38	19 06	3 58	19 46
20	5 14	18 29	4 35	19 08	3 55	19 48
21	5 12	18 31	4 33	19 10	3 53	19 50
22	5 09	18 32	4 31	19 11	3 50	19 52
23	5 07	18 34	4 28	19 13	3 48	19 54
24	5 05	18 36	4 26	19 15	3 45	19 56
25	5 03	18 38	4 24	19 17	3 42	19 58
26	5 00	18 39	4 21	19 19	3 40	20 00
27	4 58	18 41	4 19	19 20	3 37	20 02
28	4 56	18 43	4 16	19 22	3 35	20 04
29	4 54	18 44	4 14	19 24	3 32	20 06
30	4 51	18 46	4 11	19 26	3 29	20 08
31	4 49	18 48	4 09	19 28	3 27	20 11

Kwiecień

1	4 47	18 49	4 07	19 30	3 24	20 13
2	4 44	18 51	4 04	19 32	3 21	20 15
3	4 42	18 53	4 02	19 33	3 18	20 17
4	4 40	18 54	3 59	19 35	3 16	20 19
5	4 37	18 56	3 57	19 37	3 13	20 21
6	4 35	18 58	3 54	19 39	3 10	20 24
7	4 33	19 00	3 52	19 41	3 07	20 26
8	4 31	19 01	3 49	19 43	3 04	20 28
9	4 28	19 03	3 47	19 45	3 02	20 31
10	4 26	19 05	3 44	19 47	2 59	20 33
11	4 24	19 07	3 42	19 49	2 56	20 35
12	4 22	19 08	3 39	19 51	2 53	20 38
13	4 19	19 10	3 37	19 53	2 50	20 40
14	4 17	19 12	3 34	19 55	2 47	20 43
15	4 15	19 14	3 32	19 57	2 44	20 45
16	4 13	19 15	3 29	19 59	2 41	20 48
17	4 10	19 17	3 27	20 01	2 38	20 50
18	4 08	19 19	3 24	20 03	2 35	20 53
19	4 06	19 21	3 22	20 05	2 32	20 55
20	4 04	19 22	3 19	20 07	2 29	20 58
21	4 02	19 24	3 17	20 09	2 26	21 01
22	3 59	19 26	3 15	20 11	2 23	21 03
23	3 57	19 28	3 12	20 13	2 20	21 06
24	3 55	19 30	3 10	20 15	2 17	21 09
25	3 53	19 31	3 07	20 18	2 14	21 12
26	3 51	19 33	3 05	20 20	2 10	21 15
27	3 49	19 35	3 02	20 22	2 07	21 18
28	3 47	19 37	3 00	20 24	2 04	21 21
29	3 45	19 38	2 57	20 26	2 01	21 24
30	3 43	19 40	2 55	20 28	1 57	21 27

Maj

1	3 40	19 42	2 52	20 30	1 54	21 30
2	3 38	19 44	2 50	20 33	1 51	21 33
3	3 36	19 46	2 48	20 35	1 47	21 36
4	3 35	19 47	2 45	20 37	1 44	21 39
5	3 33	19 49	2 43	20 39	1 41	21 43
6	3 31	19 51	2 41	20 41	1 37	21 46
7	3 29	19 53	2 38	20 44	1 34	21 49
8	3 27	19 54	2 36	20 46	1 30	21 53
9	3 25	19 56	2 34	20 48	1 26	21 57
10	3 23	19 58	2 31	20 50	1 23	22 00
11	3 21	20 00	2 29	20 53	1 19	22 04
12	3 20	20 01	2 27	20 55	1 15	22 08
13	3 18	20 03	2 24	20 57	1 11	22 12
14	3 16	20 05	2 22	20 59	1 07	22 16
15	3 14	20 07	2 20	21 01	1 03	22 20
16	3 13	20 08	2 18	21 04	0 59	22 24
17	3 11	20 10	2 16	21 06	0 55	22 29
18	3 10	20 12	2 14	21 08	0 51	22 34
19	3 08	20 13	2 12	21 10	0 46	22 39
20	3 06	20 15	2 09	21 12	0 41	22 44
21	3 05	20 16	2 07	21 14	0 36	22 49
22	3 04	20 18	2 05	21 17	0 30	22 56
23	3 02	20 19	2 03	21 19	0 24	23 02
24	3 01	20 21	2 02	21 21	0 18	23 11
25	2 59	20 22	2 00	21 23	0 10	23 22
26	2 58	20 24	1 58	21 25	23 59	// //
27	2 57	20 25	1 56	21 27	// //	// //
28	2 56	20 27	1 54	21 29	// //	// //
29	2 55	20 28	1 53	21 31	// //	// //
30	2 54	20 29	1 51	21 32	// //	// //
31	2 53	20 31	1 49	21 34	// //	// //

Czerwiec

1	2 52	20 32	1 48	21 36	// //	// //
2	2 51	20 33	1 46	21 38	// //	// //
3	2 50	20 34	1 45	21 39	// //	// //
4	2 49	20 35	1 44	21 41	// //	// //
5	2 48	20 37	1 42	21 43	// //	// //
6	2 47	20 38	1 41	21 44	// //	// //
7	2 47	20 39	1 40	21 46	// //	// //
8	2 46	20 40	1 39	21 47	// //	// //
9	2 46	20 40	1 38	21 48	// //	// //
10	2 45	20 41	1 37	21 49	// //	// //
11	2 45	20 42	1 36	21 51	// //	// //
12	2 44	20 43	1 36	21 52	// //	// //
13	2 44	20 44	1 35	21 53	// //	// //
14	2 44	20 44	1 35	21 54	// //	// //
15	2 44	20 45	1 34	21 54	// //	// //
16	2 43	20 45	1 34	21 55	// //	// //
17	2 43	20 46	1 34	21 56	// //	// //
18	2 43	20 46	1 33	21 56	// //	// //
19	2 43	20 47	1 33	21 57	// //	// //
20	2 43	20 47	1 33	21 57	// //	// //
21	2 44	20 47	1 33	21 57	// //	// //
22	2 44	20 47	1 34	21 57	// //	// //
23	2 44	20 47	1 34	21 57	// //	// //
24	2 44	20 47	1 34	21 57	// //	// //
25	2 45	20 47	1 35	21 57	// //	// //
26	2 45	20 47	1 36	21 57	// //	// //
27	2 46	20 47	1 36	21 56	// //	// //
28	2 46	20 47	1 37	21 56	// //	// //
29	2 47	20 47	1 38	21 55	// //	// //
30	2 48	20 46	1 39	21 55	// //	// //

Lipiec

1	2 48	20 46	1 40	21 54	// //	// //
2	2 49	20 45	1 41	21 53	// //	// //
3	2 50	20 45	1 42	21 52	// //	// //
4	2 51	20 44	1 44	21 51	// //	// //
5	2 52	20 44	1 45	21 50	// //	// //
6	2 53	20 43	1 46	21 49	// //	// //
7	2 54	20 42	1 48	21 48	// //	// //
8	2 55	20 42	1 49	21 47	// //	// //
9	2 56	20 41	1 51	21 45	// //	// //
10	2 57	20 40	1 53	21 44	// //	// //
11	2 58	20 39	1 54	21 42	// //	// //
12	3 00	20 38	1 56	21 41	// //	// //
13	3 01	20 37	1 58	21 39	// //	// //
14	3 02	20 36	2 00	21 38	// //	// //
15	3 04	20 35	2 02	21 36	// //	// //
16	3 05	20 33	2 03	21 34	// //	// //
17	3 06	20 32	2 05	21 32	// //	23 32
18	3 08	20 31	2 07	21 31	0 08	23 21
19	3 09	20 29	2 09	21 29	0 19	23 13
20	3 11	20 28	2 11	21 27	0 27	23 06
21	3 12	20 27	2 13	21 25	0 34	23 00
22	3 14	20 25	2 16	21 23	0 40	22 55
23	3 15	20 24	2 18	21 21	0 46	22 49
24	3 17	20 22	2 20	21 19	0 51	22 45
25	3 18	20 21	2 22	21 17	0 56	22 40
26	3 20	20 19	2 24	21 15	1 01	22 36
27	3 22	20 17	2 26	21 12	1 05	22 31
28	3 23	20 16	2 28	21 10	1 09	22 27
29	3 25	20 14	2 30	21 08	1 13	22 23
30	3 26	20 12	2 33	21 06	1 17	22 19
31	3 28	20 11	2 35	21 03	1 21	22 15

Sierpień

1	3 30	20 09	2 37	21 01	1 25	22 11
2	3 31	20 07	2 39	20 59	1 29	22 08
3	3 33	20 05	2 41	20 57	1 32	22 04
4	3 35	20 03	2 43	20 54	1 36	22 00
5	3 37	20 01	2 45	20 52	1 39	21 57
6	3 38	19 59	2 48	20 50	1 43	21 53
7	3 40	19 57	2 50	20 47	1 46	21 50
8	3 42	19 55	2 52	20 45	1 49	21 46
9	3 43	19 53	2 54	20 42	1 53	21 43
10	3 45	19 51	2 56	20 40	1 56	21 39
11	3 47	19 49	2 58	20 38	1 59	21 36
12	3 49	19 47	3 00	20 35	2 02	21 33
13	3 50	19 45	3 03	20 33	2 05	21 30
14	3 52	19 43	3 05	20 30	2 08	21 26
15	3 54	19 41	3 07	20 28	2 11	21 23
16	3 55	19 39	3 09	20 25	2 13	21 20
17	3 57	19 37	3 11	20 23	2 16	21 17
18	3 59	19 35	3 13	20 20	2 19	21 13
19	4 01	19 32	3 15	20 18	2 22	21 10
20	4 02	19 30	3 17	20 15	2 24	21 07
21	4 04	19 28	3 19	20 13	2 27	21 04
22	4 06	19 26	3 21	20 10	2 30	21 01
23	4 07	19 24	3 23	20 08	2 32	20 58
24	4 09	19 21	3 25	20 05	2 35	20 55
25	4 11	19 19	3 27	20 03	2 37	20 52
26	4 12	19 17	3 29	20 00	2 40	20 49
27	4 14	19 15	3 31	19 58	2 42	20 46
28	4 16	19 12	3 33	19 55	2 45	20 43
29	4 18	19 10	3 35	19 53	2 47	20 40
30	4 19	19 08	3 37	19 50	2 49	20 37
31	4 21	19 06	3 38	19 48	2 52	20 34

Wrzesień

1	4 23	19 03	3 40	19 45	2 54	20 31
2	4 24	19 01	3 42	19 43	2 56	20 28
3	4 26	18 59	3 44	19 40	2 59	20 25
4	4 27	18 56	3 46	19 38	3 01	20 23
5	4 29	18 54	3 48	19 35	3 03	20 20
6	4 31	18 52	3 50	19 33	3 05	20 17
7	4 32	18 50	3 51	19 30	3 07	20 14
8	4 34	18 47	3 53	19 28	3 09	20 11
9	4 36	18 45	3 55	19 25	3 12	20 08
10	4 37	18 43	3 57	19 23	3 14	20 06
11	4 39	18 40	3 59	19 20	3 16	20 03
12	4 41	18 38	4 00	19 18	3 18	20 00
13	4 42	18 36	4 02	19 15	3 20	19 58
14	4 44	18 33	4 04	19 13	3 22	19 55
15	4 45	18 31	4 06	19 11	3 24	19 52
16	4 47	18 29	4 07	19 08	3 26	19 50
17	4 49	18 26	4 09	19 06	3 28	19 47
18	4 50	18 24	4 11	19 03	3 30	19 44
19	4 52	18 22	4 13	19 01	3 32	19 42
20	4 53	18 20	4 14	18 58	3 33	19 39
21	4 55	18 17	4 16	18 56	3 35	19 37
22	4 57	18 15	4 18	18 54	3 37	19 34
23	4 58	18 13	4 19	18 51	3 39	19 31
24	5 00	18 10	4 21	18 49	3 41	19 29
25	5 01	18 08	4 23	18 47	3 43	19 26
26	5 03	18 06	4 24	18 44	3 44	19 24
27	5 04	18 04	4 26	18 42	3 46	19 21
28	5 06	18 01	4 28	18 40	3 48	19 19
29	5 08	17 59	4 29	18 37	3 50	19 17
30	5 09	17 57	4 31	18 35	3 52	19 14

Październik

1	5 11	17 55	4 32	18 33	3 53	19 12
2	5 12	17 52	4 34	18 31	3 55	19 09
3	5 14	17 50	4 36	18 28	3 57	19 07
4	5 15	17 48	4 37	18 26	3 58	19 05
5	5 17	17 46	4 39	18 24	4 00	19 03
6	5 19	17 44	4 41	18 22	4 02	19 00
7	5 20	17 42	4 42	18 20	4 04	18 58
8	5 22	17 39	4 44	18 17	4 05	18 56
9	5 23	17 37	4 45	18 15	4 07	18 54
10	5 25	17 35	4 47	18 13	4 09	18 51
11	5 27	17 33	4 49	18 11	4 10	18 49
12	5 28	17 31	4 50	18 09	4 12	18 47
13	5 30	17 29	4 52	18 07	4 13	18 45
14	5 31	17 27	4 53	18 05	4 15	18 43
15	5 33	17 25	4 55	18 03	4 17	18 41
16	5 35	17 23	4 56	18 01	4 18	18 39
17	5 36	17 21	4 58	17 59	4 20	18 37
18	5 38	17 19	5 00	17 57	4 22	18 35
19	5 39	17 17	5 01	17 55	4 23	18 33
20	5 41	17 15	5 03	17 53	4 25	18 31
21	5 43	17 13	5 04	17 51	4 26	18 29
22	5 44	17 11	5 06	17 49	4 28	18 27
23	5 46	17 09	5 07	17 47	4 29	18 25
24	5 47	17 07	5 09	17 46	4 31	18 24
25	5 49	17 05	5 11	17 44	4 33	18 22
26	5 51	17 04	5 12	17 42	4 34	18 20
27	5 52	17 02	5 14	17 40	4 36	18 18
28	5 54	17 00	5 15	17 39	4 37	18 17
29	5 55	16 58	5 17	17 37	4 39	18 15
30	5 57	16 57	5 18	17 35	4 40	18 13
31	5 59	16 55	5 20	17 34	4 42	18 12

Listopad

1	6 00	16 53	5 21	17 32	4 43	18 10
2	6 02	16 52	5 23	17 30	4 45	18 09
3	6 04	16 50	5 24	17 29	4 46	18 07
4	6 05	16 48	5 26	17 27	4 48	18 06
5	6 07	16 47	5 28	17 26	4 49	18 04
6	6 08	16 45	5 29	17 25	4 51	18 03
7	6 10	16 44	5 31	17 23	4 52	18 01
8	6 12	16 42	5 32	17 22	4 54	18 00
9	6 13	16 41	5 34	17 20	4 55	17 59
10	6 15	16 40	5 35	17 19	4 57	17 58
11	6 16	16 38	5 37	17 18	4 58	17 56
12	6 18	16 37	5 38	17 17	4 59	17 55
13	6 19	16 36	5 40	17 15	5 01	17 54
14	6 21	16 34	5 41	17 14	5 02	17 53
15	6 22	16 33	5 42	17 13	5 04	17 52
16	6 24	16 32	5 44	17 12	5 05	17 51
17	6 26	16 31	5 45	17 11	5 06	17 50
18	6 27	16 30	5 47	17 10	5 08	17 49
19	6 29	16 29	5 48	17 09	5 09	17 48
20	6 30	16 28	5 49	17 08	5 10	17 47
21	6 32	16 27	5 51	17 07	5 12	17 46
22	6 33	16 26	5 52	17 07	5 13	17 46
23	6 34	16 25	5 54	17 06	5 14	17 45
24	6 36	16 24	5 55	17 05	5 16	17 44
25	6 37	16 23	5 56	17 04	5 17	17 44
26	6 39	16 23	5 58	17 04	5 18	17 43
27	6 40	16 22	5 59	17 03	5 19	17 42
28	6 41	16 21	6 00	17 02	5 21	17 42
29	6 43	16 21	6 01	17 02	5 22	17 41
30	6 44	16 20	6 02	17 01	5 23	17 41

Grudzień

1	6 45	16 19	6 04	17 01	5 24	17 41
2	6 46	16 19	6 05	17 01	5 25	17 40
3	6 48	16 19	6 06	17 00	5 26	17 40
4	6 49	16 18	6 07	17 00	5 27	17 40
5	6 50	16 18	6 08	17 00	5 28	17 39
6	6 51	16 18	6 09	16 59	5 29	17 39
7	6 52	16 17	6 10	16 59	5 30	17 39
8	6 53	16 17	6 11	16 59	5 31	17 39
9	6 54	16 17	6 12	16 59	5 32	17 39
10	6 55	16 17	6 13	16 59	5 33	17 39
11	6 56	16 17	6 14	16 59	5 34	17 39
12	6 57	16 17	6 15	16 59	5 35	17 39
13	6 58	16 17	6 16	16 59	5 36	17 39
14	6 59	16 17	6 17	16 59	5 37	17 40
15	7 00	16 17	6 17	17 00	5 37	17 40
16	7 01	16 18	6 18	17 00	5 38	17 40
17	7 01	16 18	6 19	17 00	5 39	17 40
18	7 02	16 18	6 20	17 01	5 39	17 41
19	7 03	16 18	6 20	17 01	5 40	17 41
20	7 03	16 19	6 21	17 01	5 41	17 42
21	7 04	16 19	6 21	17 02	5 41	17 42
22	7 04	16 20	6 22	17 02	5 42	17 42
23	7 05	16 20	6 22	17 03	5 42	17 43
24	7 05	16 21	6 23	17 03	5 43	17 44
25	7 05	16 22	6 23	17 04	5 43	17 44
26	7 06	16 22	6 23	17 05	5 43	17 45
27	7 06	16 23	6 24	17 05	5 44	17 46
28	7 06	16 24	6 24	17 06	5 44	17 46
29	7 06	16 25	6 24	17 07	5 44	17 47
30	7 07	16 26	6 24	17 08	5 44	17 48
31	7 07	16 26	6 24	17 09	5 44	17 49

Tabela 3. Wschody, górowania i zachody Księżycy w Częstochowie. W kolumnach podano środkowoeuropejskie czasy występowania zjawisk w godzinach i minutach. Dodatkowo, w nawiasach, podano w stopniach azymuty wschodzącego i zachodzącego Księżycy oraz wysokość Księżycy w czasie górowania. Azymut podano zgodnie z konwencją liczenia go od punktu kardynalnego horyzontu N w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Literką *p* oznaczono przypadki, kiedy wschód odbywa się przed północą (zatem dnia poprzedniego). Literką *f* oznaczono przypadki, gdy zachód odbywa się po północy (zatem dnia następnego).

	wschód		górowanie		zachód	
	h	m °	h	m °	h	m °
Styczeń						
1	15	32 (58)	23	37 (s59)	f 7	42 (303)
3	p16	37 (58)	0	40 (s59)	8	37 (300)
4	p17	50 (61)	1	42 (s56)	9	22 (296)
5	p19	08 (66)	2	40 (s53)	9	58 (290)
6	p20	25 (73)	3	34 (s49)	10	28 (283)
7	p21	40 (80)	4	24 (s44)	10	55 (276)
8	p22	53 (88)	5	12 (s40)	11	19 (269)
9	0	02 (95)	5	58 (s35)	11	42 (262)
10	1	10 (102)	6	42 (s31)	12	06 (255)
11	2	15 (108)	7	27 (s27)	12	31 (249)
12	3	19 (114)	8	13 (s24)	13	00 (244)
13	4	20 (118)	8	59 (s22)	13	33 (241)
14	5	18 (121)	9	46 (s20)	14	11 (238)
15	6	11 (123)	10	33 (s19)	14	55 (237)
16	6	59 (123)	11	21 (s19)	15	45 (238)
17	7	41 (121)	12	09 (s21)	16	41 (240)
18	8	17 (118)	12	56 (s23)	17	42 (244)
19	8	48 (113)	13	43 (s25)	18	45 (249)
20	9	15 (108)	14	28 (s29)	19	50 (255)
21	9	40 (102)	15	14 (s33)	20	57 (261)
22	10	03 (95)	15	59 (s37)	22	05 (269)
23	10	27 (88)	16	45 (s42)	23	15 (276)
24	10	51 (81)	17	33 (s46)	f 0	27 (283)
25	11	18 (74)	18	23 (s51)	f 1	41 (290)
26	11	49 (67)	19	17 (s54)	f 2	57 (296)
27	12	27 (62)	20	14 (s57)	f 4	10 (300)
28	13	14 (59)	21	15 (s59)	f 5	19 (302)
29	14	12 (57)	22	17 (s59)	f 6	20 (302)
30	15	20 (59)	23	20 (s58)	f 7	10 (299)
Luty						
1	p16	36 (63)	0	20 (s55)	7	52 (293)
2	p17	55 (69)	1	17 (s51)	8	25 (287)
3	p19	14 (76)	2	11 (s47)	8	54 (280)
4	p20	31 (84)	3	02 (s42)	9	20 (272)
5	p21	44 (92)	3	50 (s37)	9	45 (265)
6	p22	55 (99)	4	37 (s33)	10	09 (258)
7	0	03 (106)	5	23 (s29)	10	34 (252)
8	1	08 (112)	6	09 (s25)	11	02 (246)
9	2	11 (117)	6	55 (s22)	11	33 (242)
10	3	10 (120)	7	42 (s20)	12	09 (239)
11	4	05 (122)	8	29 (s19)	12	51 (237)
12	4	55 (123)	9	17 (s19)	13	39 (237)
13	5	39 (122)	10	05 (s20)	14	33 (239)
14	6	17 (119)	10	52 (s22)	15	33 (242)
15	6	50 (115)	11	40 (s24)	16	36 (247)
16	7	19 (110)	12	26 (s28)	17	41 (253)
17	7	45 (104)	13	12 (s32)	18	48 (259)
18	8	09 (97)	13	57 (s36)	19	57 (266)
19	8	32 (90)	14	44 (s40)	21	07 (274)
20	8	56 (83)	15	31 (s45)	22	18 (281)
21	9	22 (76)	16	20 (s49)	23	30 (288)
22	9	51 (69)	17	11 (s53)	f 0	43 (294)
23	10	25 (64)	18	05 (s56)	f 1	56 (299)
24	11	07 (60)	19	02 (s58)	f 3	04 (302)
25	11	58 (58)	20	02 (s59)	f 4	06 (303)
26	12	59 (58)	21	02 (s59)	f 4	59 (301)
27	14	10 (61)	22	02 (s56)	f 5	44 (296)
28	15	26 (66)	23	00 (s53)	f 6	20 (290)

Marzec

2	p16 45 (72)	p23 55 (s49)	6 51 (283)
3	p18 03 (80)	0 48 (s44)	7 19 (276)
4	p19 19 (88)	1 38 (s39)	7 44 (268)
5	p20 33 (96)	2 26 (s35)	8 09 (261)
6	p21 44 (103)	3 14 (s30)	8 34 (254)
7	p22 52 (109)	4 01 (s26)	9 01 (248)
8	p23 58 (115)	4 48 (s23)	9 31 (243)
9	1 00 (119)	5 35 (s21)	10 06 (240)
10	1 57 (122)	6 23 (s20)	10 46 (237)
11	2 50 (123)	7 11 (s19)	11 32 (237)
12	3 36 (123)	7 59 (s20)	12 24 (238)
13	4 16 (120)	8 46 (s21)	13 21 (241)
14	4 50 (117)	9 34 (s23)	14 23 (245)
15	5 21 (112)	10 20 (s26)	15 28 (250)
16	5 48 (106)	11 07 (s30)	16 35 (257)
17	6 12 (99)	11 53 (s34)	17 45 (264)
18	6 36 (92)	12 40 (s39)	18 55 (271)
19	7 00 (85)	13 27 (s44)	20 07 (279)
20	7 25 (78)	14 16 (s48)	21 21 (286)
21	7 53 (71)	15 08 (s52)	22 35 (293)
22	8 26 (65)	16 01 (s56)	23 48 (298)
23	9 05 (60)	16 57 (s58)	f 0 57 (302)
24	9 52 (58)	17 55 (s59)	f 2 00 (303)
25	10 49 (57)	18 54 (s59)	f 2 55 (302)
26	11 55 (59)	19 52 (s58)	f 3 41 (298)
27	13 07 (63)	20 49 (s55)	f 4 19 (293)
28	14 23 (69)	21 43 (s51)	f 4 51 (287)
29	15 40 (76)	22 36 (s47)	f 5 18 (279)
30	16 56 (84)	23 26 (s42)	f 5 44 (272)

Kwiecień

1	p18 10 (92)	0 15 (s37)	6 08 (264)
2	p19 23 (100)	1 03 (s32)	6 33 (257)
3	p20 34 (107)	1 51 (s28)	7 00 (251)
4	p21 42 (113)	2 39 (s24)	7 29 (245)
5	p22 47 (118)	3 27 (s22)	8 01 (241)
6	p23 47 (121)	4 15 (s20)	8 39 (238)
7	0 42 (123)	5 03 (s19)	9 23 (237)
8	1 31 (123)	5 51 (s19)	10 13 (237)
9	2 14 (122)	6 39 (s20)	11 08 (239)
10	2 50 (119)	7 26 (s22)	12 08 (243)
11	3 22 (114)	8 13 (s25)	13 11 (248)
12	3 49 (109)	8 59 (s28)	14 18 (254)
13	4 15 (103)	9 45 (s32)	15 26 (261)
14	4 38 (96)	10 32 (s37)	16 37 (268)
15	5 02 (88)	11 20 (s42)	17 50 (276)
16	5 27 (81)	12 09 (s46)	19 05 (283)
17	5 54 (73)	13 01 (s51)	20 21 (291)
18	6 25 (67)	13 55 (s55)	21 37 (297)
19	7 02 (61)	14 51 (s58)	22 50 (301)
20	7 48 (58)	15 50 (s59)	23 56 (303)
21	8 42 (57)	16 49 (s60)	f 0 54 (303)
22	9 46 (58)	17 48 (s58)	f 1 42 (300)
23	10 56 (62)	18 44 (s56)	f 2 21 (295)
24	12 10 (67)	19 39 (s52)	f 2 54 (289)
25	13 25 (74)	20 30 (s48)	f 3 22 (282)
26	14 40 (81)	21 20 (s44)	f 3 47 (275)
27	15 53 (89)	22 08 (s39)	f 4 11 (267)
28	17 05 (97)	22 56 (s34)	f 4 35 (260)
30	p18 16 (104)	p23 43 (s30)	5 00 (253)

Maj

1	p19 26 (111)	0 30 (s26)	5 27 (247)
2	p20 32 (116)	1 18 (s23)	5 58 (242)
3	p21 36 (120)	2 07 (s20)	6 34 (239)
4	p22 34 (123)	2 55 (s19)	7 15 (236)
5	p23 26 (124)	3 44 (s19)	8 02 (236)
6	0 11 (123)	4 32 (s19)	8 56 (238)
7	0 50 (121)	5 20 (s21)	9 54 (241)
8	1 23 (117)	6 06 (s23)	10 55 (245)
9	1 52 (112)	6 52 (s26)	12 00 (251)
10	2 17 (106)	7 37 (s30)	13 07 (257)
11	2 41 (99)	8 23 (s35)	14 16 (264)
12	3 04 (92)	9 09 (s39)	15 27 (272)
13	3 27 (84)	9 58 (s44)	16 41 (280)
14	3 53 (77)	10 49 (s49)	17 58 (287)
15	4 22 (70)	11 42 (s53)	19 16 (294)
16	4 57 (63)	12 39 (s57)	20 33 (300)
17	5 40 (59)	13 39 (s59)	21 45 (303)
18	6 32 (57)	14 40 (s60)	22 49 (304)
19	7 34 (57)	15 41 (s59)	23 42 (302)
20	8 44 (60)	16 40 (s57)	f 0 24 (297)
21	9 59 (65)	17 35 (s54)	f 0 59 (292)
22	11 14 (71)	18 28 (s50)	f 1 28 (285)
23	12 29 (79)	19 18 (s45)	f 1 54 (277)
24	13 42 (86)	20 06 (s40)	f 2 17 (270)
25	14 54 (94)	20 53 (s36)	f 2 40 (263)
26	16 04 (101)	21 39 (s31)	f 3 04 (256)
27	17 13 (108)	22 26 (s27)	f 3 29 (249)
28	18 20 (114)	23 13 (s24)	f 3 58 (244)
30	p19 25 (119)	0 01 (s21)	4 31 (240)
31	p20 26 (122)	0 49 (s19)	5 10 (237)

Czerwiec

1	p21 20 (124)	1 38 (s19)	5 55 (236)
2	p22 08 (124)	2 27 (s19)	6 46 (237)
3	p22 50 (122)	3 14 (s20)	7 42 (239)
4	p23 25 (119)	4 01 (s22)	8 43 (243)
5	p23 55 (114)	4 46 (s25)	9 46 (248)
6	0 21 (109)	5 31 (s28)	10 51 (254)
7	0 45 (102)	6 16 (s33)	11 57 (261)
8	1 07 (95)	7 01 (s37)	13 06 (268)
9	1 29 (88)	7 47 (s42)	14 18 (276)
10	1 53 (81)	8 36 (s47)	15 32 (284)
11	2 20 (73)	9 27 (s51)	16 49 (291)
12	2 51 (66)	10 23 (s55)	18 07 (297)
13	3 30 (61)	11 22 (s58)	19 23 (302)
14	4 18 (57)	12 24 (s60)	20 33 (304)
15	5 17 (56)	13 27 (s60)	21 33 (303)
16	6 26 (58)	14 29 (s58)	22 22 (300)
17	7 42 (62)	15 28 (s55)	23 01 (294)
18	9 00 (69)	16 23 (s51)	23 33 (287)
19	10 17 (76)	17 15 (s47)	24 00 (280)
20	11 32 (84)	18 04 (s42)	f 0 24 (272)
21	12 44 (91)	18 52 (s37)	f 0 47 (265)
22	13 55 (99)	19 38 (s33)	f 1 10 (258)
23	15 04 (106)	20 24 (s28)	f 1 34 (251)
24	16 11 (112)	21 10 (s25)	f 2 02 (246)
25	17 16 (117)	21 57 (s22)	f 2 33 (241)
26	18 18 (121)	22 45 (s20)	f 3 09 (238)
27	19 15 (124)	23 34 (s19)	f 3 51 (236)
29	p20 05 (124)	0 22 (s19)	4 40 (236)
30	p20 49 (123)	1 10 (s19)	5 34 (238)

Lipiec

1	p21 27 (120)	1 57 (s21)	6 33 (241)
2	p21 58 (116)	2 43 (s24)	7 35 (246)
3	p22 25 (111)	3 28 (s27)	8 39 (252)
4	p22 49 (105)	4 12 (s31)	9 45 (258)
5	p23 12 (98)	4 56 (s35)	10 51 (265)
6	p23 34 (91)	5 41 (s40)	12 00 (272)
7	p23 56 (84)	6 27 (s44)	13 10 (280)
8	0 20 (77)	7 15 (s49)	14 24 (287)
9	0 48 (70)	8 07 (s53)	15 40 (294)
10	1 22 (64)	9 03 (s57)	16 56 (300)
11	2 04 (59)	10 03 (s59)	18 10 (303)
12	2 56 (56)	11 06 (s60)	19 16 (304)
13	4 01 (57)	12 09 (s59)	20 11 (302)
14	5 16 (60)	13 12 (s57)	20 56 (297)
15	6 36 (65)	14 11 (s53)	21 32 (291)
16	7 56 (72)	15 06 (s49)	22 02 (283)
17	9 15 (80)	15 58 (s44)	22 28 (275)
18	10 31 (88)	16 48 (s39)	22 52 (268)
19	11 44 (96)	17 35 (s34)	23 15 (260)
20	12 54 (104)	18 22 (s30)	23 40 (253)
21	14 03 (110)	19 08 (s26)	f 0 06 (247)
22	15 09 (116)	19 55 (s23)	f 0 35 (242)
23	16 11 (120)	20 43 (s20)	f 1 10 (239)
24	17 10 (123)	21 31 (s19)	f 1 50 (236)
25	18 02 (124)	22 19 (s18)	f 2 36 (236)
26	18 48 (124)	23 07 (s19)	f 3 29 (237)
28	p19 28 (121)	p23 55 (s20)	4 26 (240)
29	p20 01 (118)	0 41 (s23)	5 27 (244)
30	p20 30 (113)	1 26 (s26)	6 31 (250)
31	p20 55 (107)	2 11 (s30)	7 36 (256)

Sierpień

1	p21 17 (100)	2 54 (s34)	8 42 (263)
2	p21 39 (94)	3 38 (s38)	9 49 (270)
3	p22 01 (87)	4 23 (s43)	10 57 (277)
4	p22 23 (79)	5 09 (s47)	12 08 (285)
5	p22 49 (72)	5 58 (s51)	13 20 (291)
6	p23 19 (66)	6 50 (s55)	14 34 (297)
7	p23 55 (61)	7 46 (s58)	15 47 (302)
8	0 41 (57)	8 46 (s60)	16 56 (304)
9	1 39 (56)	9 48 (s60)	17 56 (303)
10	2 48 (58)	10 51 (s58)	18 46 (300)
11	4 05 (62)	11 52 (s55)	19 26 (294)
12	5 27 (69)	12 51 (s51)	20 00 (287)
13	6 49 (76)	13 46 (s46)	20 28 (279)
14	8 09 (85)	14 38 (s41)	20 54 (271)
15	9 25 (93)	15 28 (s36)	21 18 (263)
16	10 39 (101)	16 16 (s31)	21 42 (256)
17	11 50 (108)	17 04 (s27)	22 08 (249)
18	12 58 (114)	17 51 (s24)	22 37 (244)
19	14 03 (119)	18 39 (s21)	23 10 (240)
20	15 03 (122)	19 27 (s19)	23 48 (237)
21	15 58 (124)	20 16 (s19)	f 0 32 (236)
22	16 46 (124)	21 04 (s19)	f 1 23 (236)
23	17 28 (122)	21 52 (s20)	f 2 19 (239)
24	18 03 (119)	22 38 (s22)	f 3 19 (243)
25	18 33 (114)	23 24 (s25)	f 4 23 (248)
27	p18 59 (109)	0 09 (s28)	5 28 (254)
28	p19 23 (103)	0 53 (s32)	6 34 (261)
29	p19 45 (96)	1 37 (s37)	7 41 (268)
30	p20 06 (89)	2 21 (s41)	8 49 (275)
31	p20 28 (81)	3 07 (s46)	9 58 (282)

Wrzesień

1	p20 52 (74)	3 54 (s50)	11 09 (289)
2	p21 20 (68)	4 44 (s54)	12 21 (296)
3	p21 53 (62)	5 38 (s57)	13 33 (300)
4	p22 33 (58)	6 34 (s59)	14 41 (303)
5	p23 24 (56)	7 33 (s60)	15 43 (304)
6	0 26 (57)	8 34 (s59)	16 35 (302)
7	1 38 (60)	9 34 (s57)	17 19 (297)
8	2 57 (65)	10 33 (s54)	17 55 (291)
9	4 19 (72)	11 30 (s49)	18 25 (283)
10	5 40 (81)	12 23 (s44)	18 52 (275)
11	7 00 (89)	13 15 (s39)	19 17 (267)
12	8 17 (97)	14 05 (s34)	19 42 (259)
13	9 31 (105)	14 55 (s29)	20 08 (252)
14	10 43 (112)	15 43 (s25)	20 36 (246)
15	11 51 (117)	16 32 (s22)	21 08 (241)
16	12 54 (122)	17 21 (s20)	21 44 (237)
17	13 52 (124)	18 10 (s19)	22 27 (236)
18	14 43 (125)	18 59 (s18)	23 15 (236)
19	15 27 (123)	19 47 (s19)	f 0 10 (237)
20	16 04 (121)	20 34 (s21)	f 1 09 (241)
21	16 36 (116)	21 20 (s24)	f 2 12 (246)
22	17 03 (111)	22 05 (s27)	f 3 16 (251)
23	17 27 (105)	22 50 (s31)	f 4 23 (258)
24	17 49 (98)	23 34 (s35)	f 5 30 (265)
26	p18 11 (91)	0 19 (s40)	6 39 (273)
27	p18 33 (84)	1 05 (s45)	7 49 (280)
28	p18 56 (76)	1 52 (s49)	9 01 (288)
29	p19 23 (70)	2 41 (s53)	10 13 (294)
30	p19 54 (64)	3 34 (s57)	11 25 (300)

Październik

1	p20 31 (59)	4 29 (s59)	12 34 (303)
2	p21 18 (56)	5 26 (s60)	13 37 (304)
3	p22 14 (56)	6 25 (s60)	14 31 (303)
4	p23 21 (58)	7 23 (s58)	15 16 (299)
5	0 35 (62)	8 21 (s55)	15 53 (294)
6	1 54 (69)	9 17 (s51)	16 25 (287)
7	3 14 (77)	10 10 (s46)	16 52 (279)
8	4 33 (85)	11 02 (s41)	17 17 (271)
9	5 51 (93)	11 53 (s36)	17 41 (263)
10	7 08 (102)	12 42 (s31)	18 06 (255)
11	8 22 (109)	13 32 (s27)	18 33 (248)
12	9 33 (115)	14 22 (s23)	19 04 (243)
13	10 41 (120)	15 12 (s20)	19 38 (238)
14	11 42 (124)	16 02 (s19)	20 19 (236)
15	12 37 (125)	16 51 (s18)	21 06 (235)
16	13 24 (124)	17 40 (s19)	21 58 (236)
17	14 04 (122)	18 28 (s20)	22 56 (239)
18	14 37 (118)	19 14 (s22)	23 58 (243)
19	15 06 (114)	20 00 (s25)	f 1 02 (249)
20	15 31 (108)	20 44 (s29)	f 2 07 (255)
21	15 53 (101)	21 29 (s33)	f 3 15 (262)
22	16 15 (94)	22 13 (s38)	f 4 24 (270)
23	16 37 (86)	22 59 (s43)	f 5 35 (278)
25	p16 59 (79)	p23 46 (s48)	6 47 (285)
26	p17 25 (72)	0 36 (s52)	8 01 (292)
27	p17 54 (65)	1 29 (s56)	9 16 (298)
28	p18 30 (60)	2 24 (s59)	10 27 (303)
29	p19 14 (56)	3 21 (s60)	11 33 (305)
30	p20 08 (55)	4 20 (s60)	12 30 (304)
31	p21 11 (57)	5 18 (s59)	13 17 (301)

Listopad

1	p22 23 (60)	6 15 (s57)	13 56 (296)
2	p23 39 (66)	7 10 (s53)	14 28 (290)
3	0 56 (73)	8 03 (s48)	14 55 (282)
4	2 14 (81)	8 54 (s43)	15 20 (274)
5	3 31 (90)	9 43 (s38)	15 43 (266)
6	4 46 (98)	10 33 (s33)	16 07 (258)
7	6 01 (106)	11 22 (s28)	16 32 (251)
8	7 14 (113)	12 11 (s24)	17 01 (245)
9	8 24 (119)	13 01 (s21)	17 33 (240)
10	9 29 (123)	13 52 (s19)	18 11 (236)
11	10 28 (125)	14 42 (s18)	18 56 (235)
12	11 19 (125)	15 32 (s18)	19 46 (235)
13	12 02 (124)	16 21 (s19)	20 42 (237)
14	12 38 (121)	17 08 (s21)	21 43 (241)
15	13 08 (116)	17 53 (s24)	22 46 (246)
16	13 34 (111)	18 38 (s27)	23 50 (252)
17	13 57 (104)	19 22 (s31)	f 0 56 (259)
18	14 19 (97)	20 06 (s36)	f 2 04 (266)
19	14 40 (90)	20 50 (s40)	f 3 14 (274)
20	15 01 (83)	21 37 (s45)	f 4 26 (282)
21	15 25 (75)	22 26 (s50)	f 5 40 (289)
22	15 52 (68)	23 18 (s54)	f 6 56 (296)
24	p16 26 (62)	0 13 (s58)	8 12 (301)
25	p17 07 (57)	1 11 (s60)	9 23 (305)
26	p17 58 (55)	2 12 (s61)	10 26 (305)
27	p19 00 (55)	3 12 (s60)	11 18 (303)
28	p20 11 (59)	4 11 (s58)	11 59 (298)
29	p21 27 (64)	5 07 (s54)	12 33 (292)
30	p22 45 (71)	6 01 (s50)	13 02 (285)

Grudzień

1	0 02 (78)	6 51 (s45)	13 26 (277)
2	1 18 (87)	7 40 (s40)	13 49 (269)
3	2 32 (95)	8 28 (s35)	14 12 (261)
4	3 46 (103)	9 16 (s30)	14 35 (254)
5	4 58 (110)	10 04 (s26)	15 02 (247)
6	6 08 (116)	10 53 (s22)	15 31 (242)
7	7 15 (121)	11 43 (s20)	16 06 (237)
8	8 17 (124)	12 34 (s18)	16 48 (235)
9	9 12 (126)	13 24 (s18)	17 36 (234)
10	9 59 (125)	14 13 (s18)	18 30 (236)
11	10 38 (122)	15 01 (s20)	19 29 (239)
12	11 11 (118)	15 48 (s22)	20 31 (243)
13	11 38 (113)	16 32 (s26)	21 35 (249)
14	12 02 (107)	17 16 (s29)	22 40 (255)
15	12 23 (101)	17 59 (s34)	23 45 (263)
16	12 43 (94)	18 42 (s38)	f 0 53 (270)
17	13 04 (86)	19 27 (s43)	f 2 02 (278)
18	13 26 (79)	20 13 (s48)	f 3 14 (285)
19	13 51 (72)	21 03 (s52)	f 4 29 (292)
20	14 20 (65)	21 56 (s56)	f 5 46 (299)
21	14 57 (59)	22 54 (s59)	f 7 01 (303)
23	p15 44 (56)	p23 55 (s61)	8 10 (305)
24	p16 42 (55)	0 57 (s61)	9 09 (304)
25	p17 52 (57)	1 59 (s59)	9 57 (301)
26	p19 09 (61)	2 59 (s56)	10 35 (295)
27	p20 30 (68)	3 55 (s52)	11 06 (288)
28	p21 49 (76)	4 48 (s47)	11 32 (280)
29	p23 07 (84)	5 38 (s42)	11 56 (272)
30	0 22 (92)	6 27 (s37)	12 18 (264)
31	1 36 (100)	7 14 (s32)	12 41 (256)

Tabela 4. Czas gwiazdowy dla Częstochowy.
(widomy, o godzinie 0 UT wyszczególnionych dat)

h m s			
Styczeń			
Luty			
Marzec			
1	7	58	51.1110
2	8	02	47.6770
3	8	06	44.2421
4	8	10	40.8045
5	8	14	37.3632
6	8	18	33.9183
7	8	22	30.4710
8	8	26	27.0226
9	8	30	23.5744
10	8	34	20.1272
11	8	38	16.6818
12	8	42	13.2384
13	8	46	09.7967
14	8	50	06.3564
15	8	54	02.9168
16	8	57	59.4774
17	9	01	56.0373
18	9	05	52.5958
19	9	09	49.1525
20	9	13	45.7071
21	9	17	42.2597
22	9	21	38.8109
23	9	25	35.3612
24	9	29	31.9119
25	9	33	28.4641
26	9	37	25.0188
27	9	41	21.5766
28	9	45	18.1375
29	9	49	14.7005
30	9	53	11.2638
31	9	57	07.8254
1	10	01	04.3837
2	10	05	00.9382
3	10	08	57.4894
4	10	12	54.0389
5	10	16	50.5880
6	10	20	47.1379
7	10	24	43.6894
8	10	28	40.2429
9	10	32	36.7983
10	10	36	33.3551
11	10	40	29.9128
12	10	44	26.4708
13	10	48	23.0283
14	10	52	19.5846
15	10	56	16.1392
16	11	00	12.6916
17	11	04	09.2420
18	11	08	05.7907
19	11	12	02.3385
20	11	15	58.8863
21	11	19	55.4354
22	11	23	51.9866
23	11	27	48.5407
24	11	31	45.0977
25	11	35	41.6569
26	11	39	38.2171
27	11	43	34.7764
28	11	47	31.3333
1	11	51	27.8868
2	11	55	24.4369
3	11	59	20.9846
4	12	03	17.5312
5	12	07	14.0783
6	12	11	10.6270
7	12	15	07.1776
8	12	19	03.7304
9	12	23	00.2849
10	12	26	56.8406
11	12	30	53.3967
12	12	34	49.9526
13	12	38	46.5075
14	12	42	43.0610
15	12	46	39.6125
16	12	50	36.1619
17	12	54	32.7096
18	12	58	29.2560
19	13	02	25.8023
20	13	06	22.3496
21	13	10	18.8991
22	13	14	15.4515
23	13	18	12.0069
24	13	22	08.5646
25	13	26	05.1235
26	13	30	01.6821
27	13	33	58.2387
28	13	37	54.7925
29	13	41	51.3431
30	13	45	47.8911
31	13	49	44.4376

Kwiecień

1 13 53 40.9841
 2 13 57 37.5318
 3 14 01 34.0816
 4 14 05 30.6337
 5 14 09 27.1879
 6 14 13 23.7436
 7 14 17 20.3001
 8 14 21 16.8567
 9 14 25 13.4125
 10 14 29 09.9671
 11 14 33 06.5199
 12 14 37 03.0708
 13 14 40 59.6198
 14 14 44 56.1674
 15 14 48 52.7146
 16 14 52 49.2624
 17 14 56 45.8123
 18 15 00 42.3651
 19 15 04 38.9213
 20 15 08 35.4802
 21 15 12 32.0407
 22 15 16 28.6011
 23 15 20 25.1598
 24 15 24 21.7158
 25 15 28 18.2687
 26 15 32 14.8189
 27 15 36 11.3675
 28 15 40 07.9156
 29 15 44 04.4647
 30 15 48 01.0156

Maj

1 15 51 57.5688
 2 15 55 54.1243
 3 15 59 50.6817
 4 16 03 47.2402
 5 16 07 43.7991
 6 16 11 40.3575
 7 16 15 36.9148
 8 16 19 33.4704
 9 16 23 30.0242
 10 16 27 26.5761
 11 16 31 23.1264
 12 16 35 19.6760
 13 16 39 16.2257
 14 16 43 12.7769
 15 16 47 09.3309
 16 16 51 05.8884
 17 16 55 02.4493
 18 16 58 59.0124
 19 17 02 55.5760
 20 17 06 52.1381
 21 17 10 48.6975
 22 17 14 45.2536
 23 17 18 41.8067
 24 17 22 38.3578
 25 17 26 34.9082
 26 17 30 31.4591
 27 17 34 28.0117
 28 17 38 24.5664
 29 17 42 21.1234
 30 17 46 17.6823
 31 17 50 14.2427

Czerwiec

1 17 54 10.8037
 2 17 58 07.3644
 3 18 02 03.9241
 4 18 06 00.4823
 5 18 09 57.0386
 6 18 13 53.5930
 7 18 17 50.1456
 8 18 21 46.6972
 9 18 25 43.2485
 10 18 29 39.8007
 11 18 33 36.3550
 12 18 37 32.9125
 13 18 41 29.4737
 14 18 45 26.0378
 15 18 49 22.6034
 16 18 53 19.1682
 17 18 57 15.7304
 18 19 01 12.2891
 19 19 05 08.8443
 20 19 09 05.3969
 21 19 13 01.9484
 22 19 16 58.5000
 23 19 20 55.0530
 24 19 24 51.6079
 25 19 28 48.1650
 26 19 32 44.7242
 27 19 36 41.2848
 28 19 40 37.8461
 29 19 44 34.4074
 30 19 48 30.9678

Lipiec

1 19 52 27.5268
 2 19 56 24.0839
 3 20 00 20.6389
 4 20 04 17.1921
 5 20 08 13.7438
 6 20 12 10.2950
 7 20 16 06.8466
 8 20 20 03.3997
 9 20 23 59.9555
 10 20 27 56.5145
 11 20 31 53.0768
 12 20 35 49.6414
 13 20 39 46.2064
 14 20 43 42.7696
 15 20 47 39.3294
 16 20 51 35.8852
 17 20 55 32.4378
 18 20 59 28.9886
 19 21 03 25.5391
 20 21 07 22.0905
 21 21 11 18.6438
 22 21 15 15.1992
 23 21 19 11.7566
 24 21 23 08.3156
 25 21 27 04.8754
 26 21 31 01.4353
 27 21 34 57.9945
 28 21 38 54.5523
 29 21 42 51.1082
 30 21 46 47.6621
 31 21 50 44.2140

Sierpień

1 21 54 40.7643
 2 21 58 37.3137
 3 22 02 33.8632
 4 22 06 30.4138
 5 22 10 26.9666
 6 22 14 23.5222
 7 22 18 20.0809
 8 22 22 16.6422
 9 22 26 13.2048
 10 22 30 09.7667
 11 22 34 06.3260
 12 22 38 02.8815
 13 22 41 59.4332
 14 22 45 55.9822
 15 22 49 52.5303
 16 22 53 49.0791
 17 22 57 45.6296
 18 23 01 42.1822
 19 23 05 38.7369
 20 23 09 35.2934
 21 23 13 31.8509
 22 23 17 28.4086
 23 23 21 24.9658
 24 23 25 21.5217
 25 23 29 18.0759
 26 23 33 14.6281
 27 23 37 11.1781
 28 23 41 07.7265
 29 23 45 04.2738
 30 23 49 00.8210
 31 23 52 57.3690

Wrzesień

1 23 56 53.9189
 2 0 00 50.4715
 3 0 04 47.0270
 4 0 08 43.5850
 5 0 12 40.1448
 6 0 16 36.7045
 7 0 20 33.2626
 8 0 24 29.8176
 9 0 28 26.3689
 10 0 32 22.9171
 11 0 36 19.4635
 12 0 40 16.0100
 13 0 44 12.5581
 14 0 48 09.1084
 15 0 52 05.6610
 16 0 56 02.2157
 17 0 59 58.7717
 18 1 03 55.3282
 19 1 07 51.8844
 20 1 11 48.4396
 21 1 15 44.9932
 22 1 19 41.5448
 23 1 23 38.0944
 24 1 27 34.6421
 25 1 31 31.1887
 26 1 35 27.7349
 27 1 39 24.2818
 28 1 43 20.8305
 29 1 47 17.3819
 30 1 51 13.9361

Październik

1 1 55 10.4931
 2 1 59 07.0519
 3 2 03 03.6111
 4 2 07 00.1692
 5 2 10 56.7248
 6 2 14 53.2771
 7 2 18 49.8262
 8 2 22 46.3733
 9 2 26 42.9197
 10 2 30 39.4672
 11 2 34 36.0169
 12 2 38 32.5693
 13 2 42 29.1240
 14 2 46 25.6805
 15 2 50 22.2379
 16 2 54 18.7953
 17 2 58 15.3518
 18 3 02 11.9070
 19 3 06 08.4603
 20 3 10 05.0117
 21 3 14 01.5612
 22 3 17 58.1093
 23 3 21 54.6568
 24 3 25 51.2048
 25 3 29 47.7544
 26 3 33 44.3066
 27 3 37 40.8619
 28 3 41 37.4203
 29 3 45 33.9808
 30 3 49 30.5421
 31 3 53 27.1025

Listopad

1 3 57 23.6606
 2 4 01 20.2156
 3 4 05 16.7675
 4 4 09 13.3172
 5 4 13 09.8659
 6 4 17 06.4151
 7 4 21 02.9661
 8 4 24 59.5197
 9 4 28 56.0760
 10 4 32 52.6345
 11 4 36 49.1943
 12 4 40 45.7545
 13 4 44 42.3141
 14 4 48 38.8724
 15 4 52 35.4291
 16 4 56 31.9837
 17 5 00 28.5365
 18 5 04 25.0877
 19 5 08 21.6380
 20 5 12 18.1884
 21 5 16 14.7399
 22 5 20 11.2937
 23 5 24 07.8507
 24 5 28 04.4110
 25 5 32 00.9742
 26 5 35 57.5386
 27 5 39 54.1026
 28 5 43 50.6643
 29 5 47 47.2229
 30 5 51 43.7781

Grudzień

1 5 55 40.3308
 2 5 59 36.8821
 3 6 03 33.4335
 4 6 07 29.9863
 5 6 11 26.5415
 6 6 15 23.0992
 7 6 19 19.6593
 8 6 23 16.2209
 9 6 27 12.7833
 10 6 31 09.3455
 11 6 35 05.9065
 12 6 39 02.4659
 13 6 42 59.0232
 14 6 46 55.5786
 15 6 50 52.1321
 16 6 54 48.6845
 17 6 58 45.2364
 18 7 02 41.7890
 19 7 06 38.3432
 20 7 10 34.9002
 21 7 14 31.4606
 22 7 18 28.0243
 23 7 22 24.5901
 24 7 26 21.1562
 25 7 30 17.7206
 26 7 34 14.2817
 27 7 38 10.8390
 28 7 42 07.3930
 29 7 46 03.9452
 30 7 50 00.4971
 31 7 53 57.0500

Tabela 5. Wschody, górowania i zachody Słońca w Rzepienniku Biskupim.
W kolumnach podano środkowoeuropejskie czasy występowania zjawisk w godzinach i minutach. Dodatkowo, w nawiasach, podano w stopniach azymuty wschodzącego i zachodzącego Słońca oraz wysokość Słońca w czasie górowania. Azymut podano zgodnie z konwencją liczenia go od punktu kardynalnego horyzontu N w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara.

	wschód		górowanie		zachód	
	h	m °	h	m °	h	m °
Styczeń						
1	7	33 (126)	11	39 (s17)	15	45 (234)
2	7	33 (126)	11	40 (s17)	15	46 (234)
3	7	33 (126)	11	40 (s17)	15	47 (234)
4	7	33 (126)	11	41 (s18)	15	49 (235)
5	7	33 (125)	11	41 (s18)	15	50 (235)
6	7	32 (125)	11	41 (s18)	15	51 (235)
7	7	32 (125)	11	42 (s18)	15	52 (235)
8	7	32 (125)	11	42 (s18)	15	53 (235)
9	7	31 (124)	11	43 (s18)	15	55 (236)
10	7	31 (124)	11	43 (s18)	15	56 (236)
11	7	30 (124)	11	44 (s18)	15	57 (236)
12	7	30 (124)	11	44 (s19)	15	59 (236)
13	7	29 (123)	11	44 (s19)	16	00 (237)
14	7	28 (123)	11	45 (s19)	16	02 (237)
15	7	28 (123)	11	45 (s19)	16	03 (237)
16	7	27 (122)	11	45 (s19)	16	04 (238)
17	7	26 (122)	11	46 (s20)	16	06 (238)
18	7	25 (122)	11	46 (s20)	16	07 (238)
19	7	24 (121)	11	46 (s20)	16	09 (239)
20	7	23 (121)	11	47 (s20)	16	11 (239)
21	7	22 (121)	11	47 (s20)	16	12 (239)
22	7	21 (120)	11	47 (s21)	16	14 (240)
23	7	20 (120)	11	47 (s21)	16	15 (240)
24	7	19 (119)	11	48 (s21)	16	17 (241)
25	7	18 (119)	11	48 (s21)	16	19 (241)
26	7	17 (119)	11	48 (s22)	16	20 (241)
27	7	15 (118)	11	48 (s22)	16	22 (242)
28	7	14 (118)	11	49 (s22)	16	24 (242)
29	7	13 (117)	11	49 (s22)	16	25 (243)
30	7	12 (117)	11	49 (s23)	16	27 (243)
31	7	10 (116)	11	49 (s23)	16	29 (244)
Luty						
1	7	09 (116)	11	49 (s23)	16	30 (244)
2	7	07 (116)	11	49 (s23)	16	32 (245)
3	7	06 (115)	11	49 (s24)	16	34 (245)
4	7	04 (115)	11	50 (s24)	16	35 (246)
5	7	03 (114)	11	50 (s24)	16	37 (246)
6	7	01 (114)	11	50 (s25)	16	39 (247)
7	7	00 (113)	11	50 (s25)	16	41 (247)
8	6	58 (113)	11	50 (s25)	16	42 (248)
9	6	56 (112)	11	50 (s26)	16	44 (248)
10	6	55 (112)	11	50 (s26)	16	46 (249)
11	6	53 (111)	11	50 (s26)	16	47 (249)
12	6	51 (110)	11	50 (s27)	16	49 (250)
13	6	50 (110)	11	50 (s27)	16	51 (250)
14	6	48 (109)	11	50 (s27)	16	53 (251)
15	6	46 (109)	11	50 (s28)	16	54 (251)
16	6	44 (108)	11	50 (s28)	16	56 (252)
17	6	42 (108)	11	50 (s28)	16	58 (253)
18	6	41 (107)	11	50 (s29)	16	59 (253)
19	6	39 (107)	11	49 (s29)	17	01 (254)
20	6	37 (106)	11	49 (s29)	17	03 (254)
21	6	35 (105)	11	49 (s30)	17	04 (255)
22	6	33 (105)	11	49 (s30)	17	06 (255)
23	6	31 (104)	11	49 (s30)	17	08 (256)
24	6	29 (104)	11	49 (s31)	17	09 (257)
25	6	27 (103)	11	49 (s31)	17	11 (257)
26	6	25 (103)	11	49 (s32)	17	13 (258)
27	6	23 (102)	11	48 (s32)	17	14 (258)
28	6	21 (101)	11	48 (s32)	17	16 (259)

Marzec

1	6 19 (101)	11 48 (s33)	17 18 (259)
2	6 17 (100)	11 48 (s33)	17 19 (260)
3	6 15 (100)	11 48 (s33)	17 21 (261)
4	6 13 (99)	11 47 (s34)	17 23 (261)
5	6 11 (98)	11 47 (s34)	17 24 (262)
6	6 09 (98)	11 47 (s35)	17 26 (262)
7	6 07 (97)	11 47 (s35)	17 28 (263)
8	6 05 (97)	11 46 (s35)	17 29 (264)
9	6 03 (96)	11 46 (s36)	17 31 (264)
10	6 00 (95)	11 46 (s36)	17 32 (265)
11	5 58 (95)	11 46 (s37)	17 34 (265)
12	5 56 (94)	11 45 (s37)	17 36 (266)
13	5 54 (94)	11 45 (s37)	17 37 (267)
14	5 52 (93)	11 45 (s38)	17 39 (267)
15	5 50 (92)	11 45 (s38)	17 40 (268)
16	5 48 (92)	11 44 (s39)	17 42 (269)
17	5 45 (91)	11 44 (s39)	17 44 (269)
18	5 43 (91)	11 44 (s39)	17 45 (270)
19	5 41 (90)	11 43 (s40)	17 47 (270)
20	5 39 (89)	11 43 (s40)	17 48 (271)
21	5 37 (89)	11 43 (s41)	17 50 (272)
22	5 35 (88)	11 43 (s41)	17 51 (272)
23	5 32 (87)	11 42 (s41)	17 53 (273)
24	5 30 (87)	11 42 (s42)	17 55 (273)
25	5 28 (86)	11 42 (s42)	17 56 (274)
26	5 26 (86)	11 41 (s42)	17 58 (275)
27	5 24 (85)	11 41 (s43)	17 59 (275)
28	5 22 (84)	11 41 (s43)	18 01 (276)
29	5 20 (84)	11 40 (s44)	18 02 (276)
30	5 17 (83)	11 40 (s44)	18 04 (277)
31	5 15 (83)	11 40 (s44)	18 05 (278)

Kwiecień

1	5 13 (82)	11 40 (s45)	18 07 (278)
2	5 11 (81)	11 39 (s45)	18 09 (279)
3	5 09 (81)	11 39 (s46)	18 10 (279)
4	5 07 (80)	11 39 (s46)	18 12 (280)
5	5 05 (80)	11 38 (s46)	18 13 (281)
6	5 02 (79)	11 38 (s47)	18 15 (281)
7	5 00 (78)	11 38 (s47)	18 16 (282)
8	4 58 (78)	11 38 (s47)	18 18 (282)
9	4 56 (77)	11 37 (s48)	18 19 (283)
10	4 54 (77)	11 37 (s48)	18 21 (284)
11	4 52 (76)	11 37 (s49)	18 23 (284)
12	4 50 (76)	11 36 (s49)	18 24 (285)
13	4 48 (75)	11 36 (s49)	18 26 (285)
14	4 46 (74)	11 36 (s50)	18 27 (286)
15	4 44 (74)	11 36 (s50)	18 29 (287)
16	4 42 (73)	11 35 (s50)	18 30 (287)
17	4 40 (73)	11 35 (s51)	18 32 (288)
18	4 38 (72)	11 35 (s51)	18 33 (288)
19	4 36 (72)	11 35 (s51)	18 35 (289)
20	4 34 (71)	11 35 (s52)	18 37 (289)
21	4 32 (70)	11 34 (s52)	18 38 (290)
22	4 30 (70)	11 34 (s52)	18 40 (290)
23	4 28 (69)	11 34 (s53)	18 41 (291)
24	4 26 (69)	11 34 (s53)	18 43 (291)
25	4 24 (68)	11 34 (s53)	18 44 (292)
26	4 22 (68)	11 33 (s54)	18 46 (293)
27	4 20 (67)	11 33 (s54)	18 47 (293)
28	4 18 (67)	11 33 (s54)	18 49 (294)
29	4 17 (66)	11 33 (s55)	18 50 (294)
30	4 15 (66)	11 33 (s55)	18 52 (295)

Maj

1	4 13 (65)	11 33 (s55)	18 53 (295)
2	4 11 (65)	11 33 (s56)	18 55 (296)
3	4 10 (64)	11 33 (s56)	18 56 (296)
4	4 08 (64)	11 32 (s56)	18 58 (297)
5	4 06 (63)	11 32 (s57)	18 59 (297)
6	4 05 (63)	11 32 (s57)	19 01 (297)
7	4 03 (62)	11 32 (s57)	19 02 (298)
8	4 01 (62)	11 32 (s57)	19 04 (298)
9	4 00 (61)	11 32 (s58)	19 05 (299)
10	3 58 (61)	11 32 (s58)	19 07 (299)
11	3 57 (61)	11 32 (s58)	19 08 (300)
12	3 55 (60)	11 32 (s58)	19 10 (300)
13	3 54 (60)	11 32 (s59)	19 11 (301)
14	3 52 (59)	11 32 (s59)	19 13 (301)
15	3 51 (59)	11 32 (s59)	19 14 (301)
16	3 50 (58)	11 32 (s59)	19 15 (302)
17	3 48 (58)	11 32 (s60)	19 17 (302)
18	3 47 (58)	11 32 (s60)	19 18 (303)
19	3 46 (57)	11 32 (s60)	19 19 (303)
20	3 44 (57)	11 32 (s60)	19 21 (303)
21	3 43 (57)	11 32 (s60)	19 22 (304)
22	3 42 (56)	11 32 (s61)	19 23 (304)
23	3 41 (56)	11 32 (s61)	19 25 (304)
24	3 40 (56)	11 32 (s61)	19 26 (305)
25	3 39 (55)	11 33 (s61)	19 27 (305)
26	3 38 (55)	11 33 (s61)	19 28 (305)
27	3 37 (55)	11 33 (s62)	19 29 (306)
28	3 36 (54)	11 33 (s62)	19 31 (306)
29	3 35 (54)	11 33 (s62)	19 32 (306)
30	3 34 (54)	11 33 (s62)	19 33 (306)
31	3 33 (54)	11 33 (s62)	19 34 (307)

Czerwiec

1	3 33 (53)	11 33 (s62)	19 35 (307)
2	3 32 (53)	11 34 (s62)	19 36 (307)
3	3 31 (53)	11 34 (s63)	19 37 (307)
4	3 31 (53)	11 34 (s63)	19 38 (308)
5	3 30 (52)	11 34 (s63)	19 39 (308)
6	3 30 (52)	11 34 (s63)	19 39 (308)
7	3 29 (52)	11 35 (s63)	19 40 (308)
8	3 29 (52)	11 35 (s63)	19 41 (308)
9	3 28 (52)	11 35 (s63)	19 42 (308)
10	3 28 (52)	11 35 (s63)	19 42 (309)
11	3 28 (51)	11 35 (s63)	19 43 (309)
12	3 28 (51)	11 35 (s63)	19 44 (309)
13	3 27 (51)	11 36 (s63)	19 44 (309)
14	3 27 (51)	11 36 (s63)	19 45 (309)
15	3 27 (51)	11 36 (s64)	19 45 (309)
16	3 27 (51)	11 36 (s64)	19 46 (309)
17	3 27 (51)	11 37 (s64)	19 46 (309)
18	3 27 (51)	11 37 (s64)	19 47 (309)
19	3 27 (51)	11 37 (s64)	19 47 (309)
20	3 27 (51)	11 37 (s64)	19 47 (309)
21	3 27 (51)	11 37 (s64)	19 47 (309)
22	3 28 (51)	11 38 (s64)	19 48 (309)
23	3 28 (51)	11 38 (s64)	19 48 (309)
24	3 28 (51)	11 38 (s64)	19 48 (309)
25	3 29 (51)	11 38 (s64)	19 48 (309)
26	3 29 (51)	11 39 (s64)	19 48 (309)
27	3 29 (51)	11 39 (s64)	19 48 (309)
28	3 30 (51)	11 39 (s63)	19 48 (309)
29	3 30 (51)	11 39 (s63)	19 47 (309)
30	3 31 (51)	11 39 (s63)	19 47 (309)

Lipiec

1	3 32 (51)	11 40 (s63)	19 47 (309)
2	3 32 (51)	11 40 (s63)	19 47 (308)
3	3 33 (52)	11 40 (s63)	19 46 (308)
4	3 34 (52)	11 40 (s63)	19 46 (308)
5	3 35 (52)	11 40 (s63)	19 46 (308)
6	3 35 (52)	11 40 (s63)	19 45 (308)
7	3 36 (52)	11 41 (s63)	19 45 (308)
8	3 37 (52)	11 41 (s63)	19 44 (307)
9	3 38 (53)	11 41 (s63)	19 43 (307)
10	3 39 (53)	11 41 (s62)	19 43 (307)
11	3 40 (53)	11 41 (s62)	19 42 (307)
12	3 41 (53)	11 41 (s62)	19 41 (306)
13	3 42 (54)	11 41 (s62)	19 40 (306)
14	3 43 (54)	11 42 (s62)	19 39 (306)
15	3 44 (54)	11 42 (s62)	19 39 (306)
16	3 45 (54)	11 42 (s62)	19 38 (305)
17	3 46 (55)	11 42 (s61)	19 37 (305)
18	3 47 (55)	11 42 (s61)	19 36 (305)
19	3 49 (55)	11 42 (s61)	19 35 (304)
20	3 50 (56)	11 42 (s61)	19 34 (304)
21	3 51 (56)	11 42 (s61)	19 32 (304)
22	3 52 (56)	11 42 (s60)	19 31 (303)
23	3 54 (57)	11 42 (s60)	19 30 (303)
24	3 55 (57)	11 42 (s60)	19 29 (303)
25	3 56 (57)	11 42 (s60)	19 27 (302)
26	3 57 (58)	11 42 (s60)	19 26 (302)
27	3 59 (58)	11 42 (s59)	19 25 (302)
28	4 00 (59)	11 42 (s59)	19 23 (301)
29	4 01 (59)	11 42 (s59)	19 22 (301)
30	4 03 (59)	11 42 (s59)	19 21 (300)
31	4 04 (60)	11 42 (s58)	19 19 (300)

Sierpień

1	4 05 (60)	11 42 (s58)	19 18 (300)
2	4 07 (61)	11 42 (s58)	19 16 (299)
3	4 08 (61)	11 42 (s58)	19 14 (299)
4	4 10 (62)	11 42 (s57)	19 13 (298)
5	4 11 (62)	11 42 (s57)	19 11 (298)
6	4 13 (62)	11 42 (s57)	19 10 (297)
7	4 14 (63)	11 41 (s57)	19 08 (297)
8	4 15 (63)	11 41 (s56)	19 06 (296)
9	4 17 (64)	11 41 (s56)	19 05 (296)
10	4 18 (64)	11 41 (s56)	19 03 (295)
11	4 20 (65)	11 41 (s55)	19 01 (295)
12	4 21 (65)	11 41 (s55)	18 59 (294)
13	4 23 (66)	11 41 (s55)	18 57 (294)
14	4 24 (66)	11 40 (s55)	18 56 (293)
15	4 26 (67)	11 40 (s54)	18 54 (293)
16	4 27 (67)	11 40 (s54)	18 52 (292)
17	4 29 (68)	11 40 (s54)	18 50 (292)
18	4 30 (68)	11 40 (s53)	18 48 (291)
19	4 32 (69)	11 39 (s53)	18 46 (291)
20	4 33 (69)	11 39 (s53)	18 44 (290)
21	4 34 (70)	11 39 (s52)	18 42 (290)
22	4 36 (70)	11 39 (s52)	18 40 (289)
23	4 37 (71)	11 38 (s52)	18 38 (289)
24	4 39 (72)	11 38 (s51)	18 36 (288)
25	4 40 (72)	11 38 (s51)	18 34 (288)
26	4 42 (73)	11 37 (s51)	18 32 (287)
27	4 43 (73)	11 37 (s50)	18 30 (286)
28	4 45 (74)	11 37 (s50)	18 28 (286)
29	4 46 (74)	11 37 (s50)	18 26 (285)
30	4 48 (75)	11 36 (s49)	18 24 (285)
31	4 49 (75)	11 36 (s49)	18 22 (284)

Wrzesień

1	4 51 (76)	11 36 (s48)	18 20 (284)
2	4 52 (77)	11 35 (s48)	18 18 (283)
3	4 54 (77)	11 35 (s48)	18 15 (282)
4	4 55 (78)	11 35 (s47)	18 13 (282)
5	4 57 (78)	11 34 (s47)	18 11 (281)
6	4 58 (79)	11 34 (s47)	18 09 (281)
7	5 00 (80)	11 34 (s46)	18 07 (280)
8	5 01 (80)	11 33 (s46)	18 05 (280)
9	5 02 (81)	11 33 (s45)	18 03 (279)
10	5 04 (81)	11 33 (s45)	18 00 (278)
11	5 05 (82)	11 32 (s45)	17 58 (278)
12	5 07 (82)	11 32 (s44)	17 56 (277)
13	5 08 (83)	11 32 (s44)	17 54 (277)
14	5 10 (84)	11 31 (s44)	17 52 (276)
15	5 11 (84)	11 31 (s43)	17 50 (275)
16	5 13 (85)	11 31 (s43)	17 47 (275)
17	5 14 (85)	11 30 (s42)	17 45 (274)
18	5 16 (86)	11 30 (s42)	17 43 (274)
19	5 17 (87)	11 29 (s42)	17 41 (273)
20	5 19 (87)	11 29 (s41)	17 39 (272)
21	5 20 (88)	11 29 (s41)	17 36 (272)
22	5 22 (88)	11 28 (s40)	17 34 (271)
23	5 23 (89)	11 28 (s40)	17 32 (271)
24	5 25 (90)	11 28 (s40)	17 30 (270)
25	5 26 (90)	11 27 (s39)	17 28 (269)
26	5 28 (91)	11 27 (s39)	17 25 (269)
27	5 29 (91)	11 27 (s39)	17 23 (268)
28	5 31 (92)	11 26 (s38)	17 21 (268)
29	5 32 (93)	11 26 (s38)	17 19 (267)
30	5 34 (93)	11 26 (s37)	17 17 (266)

Październik

1	5 35 (94)	11 25 (s37)	17 15 (266)
2	5 37 (95)	11 25 (s37)	17 12 (265)
3	5 38 (95)	11 25 (s36)	17 10 (265)
4	5 40 (96)	11 24 (s36)	17 08 (264)
5	5 41 (96)	11 24 (s35)	17 06 (263)
6	5 43 (97)	11 24 (s35)	17 04 (263)
7	5 44 (97)	11 24 (s35)	17 02 (262)
8	5 46 (98)	11 23 (s34)	17 00 (262)
9	5 47 (99)	11 23 (s34)	16 58 (261)
10	5 49 (99)	11 23 (s34)	16 55 (260)
11	5 51 (100)	11 22 (s33)	16 53 (260)
12	5 52 (100)	11 22 (s33)	16 51 (259)
13	5 54 (101)	11 22 (s32)	16 49 (259)
14	5 55 (102)	11 22 (s32)	16 47 (258)
15	5 57 (102)	11 21 (s32)	16 45 (258)
16	5 58 (103)	11 21 (s31)	16 43 (257)
17	6 00 (103)	11 21 (s31)	16 41 (256)
18	6 02 (104)	11 21 (s31)	16 39 (256)
19	6 03 (105)	11 21 (s30)	16 37 (255)
20	6 05 (105)	11 20 (s30)	16 35 (255)
21	6 06 (106)	11 20 (s29)	16 33 (254)
22	6 08 (106)	11 20 (s29)	16 31 (254)
23	6 10 (107)	11 20 (s29)	16 30 (253)
24	6 11 (107)	11 20 (s28)	16 28 (252)
25	6 13 (108)	11 20 (s28)	16 26 (252)
26	6 15 (108)	11 20 (s28)	16 24 (251)
27	6 16 (109)	11 20 (s27)	16 22 (251)
28	6 18 (109)	11 19 (s27)	16 20 (250)
29	6 19 (110)	11 19 (s27)	16 19 (250)
30	6 21 (111)	11 19 (s26)	16 17 (249)
31	6 23 (111)	11 19 (s26)	16 15 (249)

Listopad

1	6 24 (112)	11 19 (s26)	16 13 (248)
2	6 26 (112)	11 19 (s25)	16 12 (248)
3	6 28 (113)	11 19 (s25)	16 10 (247)
4	6 29 (113)	11 19 (s25)	16 08 (247)
5	6 31 (114)	11 19 (s25)	16 07 (246)
6	6 33 (114)	11 19 (s24)	16 05 (246)
7	6 34 (115)	11 19 (s24)	16 04 (245)
8	6 36 (115)	11 19 (s24)	16 02 (245)
9	6 38 (116)	11 19 (s23)	16 01 (244)
10	6 39 (116)	11 20 (s23)	15 59 (244)
11	6 41 (116)	11 20 (s23)	15 58 (243)
12	6 43 (117)	11 20 (s23)	15 56 (243)
13	6 44 (117)	11 20 (s22)	15 55 (242)
14	6 46 (118)	11 20 (s22)	15 54 (242)
15	6 47 (118)	11 20 (s22)	15 53 (242)
16	6 49 (119)	11 20 (s21)	15 51 (241)
17	6 51 (119)	11 21 (s21)	15 50 (241)
18	6 52 (120)	11 21 (s21)	15 49 (240)
19	6 54 (120)	11 21 (s21)	15 48 (240)
20	6 55 (120)	11 21 (s21)	15 47 (240)
21	6 57 (121)	11 21 (s20)	15 46 (239)
22	6 58 (121)	11 22 (s20)	15 45 (239)
23	7 00 (121)	11 22 (s20)	15 44 (238)
24	7 01 (122)	11 22 (s20)	15 43 (238)
25	7 03 (122)	11 23 (s19)	15 42 (238)
26	7 04 (122)	11 23 (s19)	15 41 (237)
27	7 06 (123)	11 23 (s19)	15 40 (237)
28	7 07 (123)	11 24 (s19)	15 40 (237)
29	7 08 (123)	11 24 (s19)	15 39 (237)
30	7 10 (124)	11 24 (s19)	15 38 (236)

Grudzień

1	7 11 (124)	11 25 (s18)	15 38 (236)
2	7 12 (124)	11 25 (s18)	15 37 (236)
3	7 14 (124)	11 25 (s18)	15 37 (235)
4	7 15 (125)	11 26 (s18)	15 36 (235)
5	7 16 (125)	11 26 (s18)	15 36 (235)
6	7 17 (125)	11 27 (s18)	15 36 (235)
7	7 19 (125)	11 27 (s18)	15 35 (235)
8	7 20 (126)	11 28 (s18)	15 35 (234)
9	7 21 (126)	11 28 (s17)	15 35 (234)
10	7 22 (126)	11 28 (s17)	15 35 (234)
11	7 23 (126)	11 29 (s17)	15 35 (234)
12	7 24 (126)	11 29 (s17)	15 35 (234)
13	7 25 (126)	11 30 (s17)	15 35 (234)
14	7 26 (126)	11 30 (s17)	15 35 (234)
15	7 26 (126)	11 31 (s17)	15 35 (233)
16	7 27 (127)	11 31 (s17)	15 35 (233)
17	7 28 (127)	11 32 (s17)	15 35 (233)
18	7 29 (127)	11 32 (s17)	15 36 (233)
19	7 29 (127)	11 33 (s17)	15 36 (233)
20	7 30 (127)	11 33 (s17)	15 36 (233)
21	7 30 (127)	11 34 (s17)	15 37 (233)
22	7 31 (127)	11 34 (s17)	15 37 (233)
23	7 31 (127)	11 35 (s17)	15 38 (233)
24	7 32 (127)	11 35 (s17)	15 39 (233)
25	7 32 (127)	11 36 (s17)	15 39 (233)
26	7 32 (127)	11 36 (s17)	15 40 (233)
27	7 33 (127)	11 37 (s17)	15 41 (233)
28	7 33 (127)	11 37 (s17)	15 41 (234)
29	7 33 (126)	11 38 (s17)	15 42 (234)
30	7 33 (126)	11 38 (s17)	15 43 (234)
31	7 33 (126)	11 39 (s17)	15 44 (234)

Tabela 6. Świty i zmierny w Rzepienniku Biskupim. Świt cywilny (żeglarski, astronomiczny) rozpoczyna się wtedy, gdy przed wschodem Słońca środek jego tarczy zanurzony jest na głębokość 6° (12°, 18°) względem horyzontu astronomicznego. Wszystkie świty kończą się jednocześnie o wschodzie Słońca. Zmierzchy rozpoczynają się o zachodzie Słońca. Zmierzch cywilny (żeglarski, astronomiczny) kończy się w chwili, gdy po zachodzie Słońca środek jego tarczy zanurzy się na głębokość 6° (12°, 18°) pod horyzont. W kolumnach tabeli podano momenty rozpoczęcia świtów i zakończenia zmiernów.

cywilny		żeglarski		astronomiczny													
h	m	h	m	h	m	h	m	h	m	h	m	h	m	h	m		
Styczeń						Luty											
1	6 55	16 23	6 14	17 04	5 35	17 44	1	6 34	17 05	5 55	17 44	5 18	18 21				
2	6 55	16 24	6 14	17 05	5 35	17 44	2	6 33	17 07	5 54	17 45	5 17	18 23				
3	6 55	16 25	6 14	17 06	5 35	17 45	3	6 31	17 08	5 53	17 47	5 15	18 24				
4	6 55	16 26	6 14	17 07	5 35	17 46	4	6 30	17 10	5 52	17 48	5 14	18 26				
5	6 55	16 27	6 14	17 08	5 35	17 47	5	6 29	17 11	5 50	17 50	5 13	18 27				
6	6 55	16 29	6 14	17 09	5 35	17 48	6	6 27	17 13	5 49	17 51	5 12	18 29				
7	6 54	16 30	6 14	17 10	5 35	17 49	7	6 26	17 15	5 48	17 53	5 10	18 30				
8	6 54	16 31	6 13	17 12	5 35	17 50	8	6 24	17 16	5 46	17 54	5 09	18 32				
9	6 54	16 32	6 13	17 13	5 34	17 51	9	6 23	17 18	5 45	17 56	5 07	18 33				
10	6 53	16 33	6 13	17 14	5 34	17 53	10	6 21	17 19	5 43	17 57	5 06	18 35				
11	6 53	16 34	6 13	17 15	5 34	17 54	11	6 19	17 21	5 42	17 59	5 04	18 36				
12	6 53	16 36	6 12	17 16	5 33	17 55	12	6 18	17 23	5 40	18 00	5 03	18 38				
13	6 52	16 37	6 12	17 17	5 33	17 56	13	6 16	17 24	5 38	18 02	5 01	18 39				
14	6 51	16 38	6 11	17 19	5 33	17 57	14	6 15	17 26	5 37	18 04	5 00	18 41				
15	6 51	16 40	6 11	17 20	5 32	17 58	15	6 13	17 27	5 35	18 05	4 58	18 42				
16	6 50	16 41	6 10	17 21	5 32	18 00	16	6 11	17 29	5 34	18 07	4 56	18 44				
17	6 49	16 42	6 09	17 22	5 31	18 01	17	6 09	17 31	5 32	18 08	4 55	18 46				
18	6 49	16 44	6 09	17 24	5 30	18 02	18	6 08	17 32	5 30	18 10	4 53	18 47				
19	6 48	16 45	6 08	17 25	5 30	18 03	19	6 06	17 34	5 28	18 11	4 51	18 49				
20	6 47	16 47	6 07	17 26	5 29	18 05	20	6 04	17 36	5 27	18 13	4 49	18 50				
21	6 46	16 48	6 07	17 28	5 28	18 06	21	6 02	17 37	5 25	18 15	4 48	18 52				
22	6 45	16 50	6 06	17 29	5 28	18 07	22	6 00	17 39	5 23	18 16	4 46	18 53				
23	6 44	16 51	6 05	17 31	5 27	18 09	23	5 58	17 40	5 21	18 18	4 44	18 55				
24	6 43	16 53	6 04	17 32	5 26	18 10	24	5 57	17 42	5 19	18 19	4 42	18 57				
25	6 42	16 54	6 03	17 33	5 25	18 11	25	5 55	17 44	5 17	18 21	4 40	18 58				
26	6 41	16 56	6 02	17 35	5 24	18 13	26	5 53	17 45	5 16	18 23	4 38	19 00				
27	6 40	16 57	6 01	17 36	5 23	18 14	27	5 51	17 47	5 14	18 24	4 36	19 01				
28	6 39	16 59	6 00	17 38	5 22	18 16	28	5 49	17 48	5 12	18 26	4 34	19 03				
29	6 38	17 00	5 59	17 39	5 21	18 17											
30	6 37	17 02	5 58	17 41	5 20	18 18											
31	6 35	17 03	5 57	17 42	5 19	18 20											

Marzec

1	5 47	17 50	5 10	18 27	4 32	19 05
2	5 45	17 52	5 08	18 29	4 30	19 06
3	5 43	17 53	5 06	18 30	4 28	19 08
4	5 41	17 55	5 04	18 32	4 26	19 10
5	5 39	17 56	5 02	18 34	4 24	19 11
6	5 37	17 58	5 00	18 35	4 22	19 13
7	5 35	18 00	4 57	18 37	4 20	19 15
8	5 33	18 01	4 55	18 39	4 18	19 16
9	5 31	18 03	4 53	18 40	4 15	19 18
10	5 28	18 04	4 51	18 42	4 13	19 20
11	5 26	18 06	4 49	18 43	4 11	19 22
12	5 24	18 08	4 47	18 45	4 09	19 23
13	5 22	18 09	4 45	18 47	4 06	19 25
14	5 20	18 11	4 43	18 48	4 04	19 27
15	5 18	18 12	4 40	18 50	4 02	19 29
16	5 16	18 14	4 38	18 52	4 00	19 30
17	5 13	18 16	4 36	18 53	3 57	19 32
18	5 11	18 17	4 34	18 55	3 55	19 34
19	5 09	18 19	4 31	18 57	3 52	19 36
20	5 07	18 20	4 29	18 58	3 50	19 38
21	5 05	18 22	4 27	19 00	3 48	19 39
22	5 03	18 24	4 25	19 02	3 45	19 41
23	5 00	18 25	4 22	19 03	3 43	19 43
24	4 58	18 27	4 20	19 05	3 40	19 45
25	4 56	18 28	4 18	19 07	3 38	19 47
26	4 54	18 30	4 15	19 09	3 35	19 49
27	4 52	18 32	4 13	19 10	3 33	19 51
28	4 49	18 33	4 11	19 12	3 30	19 53
29	4 47	18 35	4 08	19 14	3 28	19 55
30	4 45	18 37	4 06	19 16	3 25	19 57
31	4 43	18 38	4 04	19 17	3 23	19 59

Kwiecień

1	4 40	18 40	4 01	19 19	3 20	20 01
2	4 38	18 41	3 59	19 21	3 17	20 03
3	4 36	18 43	3 57	19 23	3 15	20 05
4	4 34	18 45	3 54	19 24	3 12	20 07
5	4 32	18 46	3 52	19 26	3 09	20 09
6	4 29	18 48	3 50	19 28	3 07	20 11
7	4 27	18 50	3 47	19 30	3 04	20 13
8	4 25	18 51	3 45	19 32	3 01	20 15
9	4 23	18 53	3 42	19 34	2 59	20 18
10	4 21	18 55	3 40	19 35	2 56	20 20
11	4 18	18 56	3 38	19 37	2 53	20 22
12	4 16	18 58	3 35	19 39	2 50	20 24
13	4 14	19 00	3 33	19 41	2 48	20 27
14	4 12	19 01	3 30	19 43	2 45	20 29
15	4 10	19 03	3 28	19 45	2 42	20 31
16	4 08	19 05	3 26	19 47	2 39	20 34
17	4 05	19 06	3 23	19 49	2 36	20 36
18	4 03	19 08	3 21	19 51	2 34	20 38
19	4 01	19 10	3 19	19 53	2 31	20 41
20	3 59	19 11	3 16	19 55	2 28	20 43
21	3 57	19 13	3 14	19 56	2 25	20 46
22	3 55	19 15	3 11	19 58	2 22	20 48
23	3 53	19 16	3 09	20 00	2 19	20 51
24	3 51	19 18	3 07	20 02	2 16	20 53
25	3 49	19 20	3 04	20 04	2 13	20 56
26	3 47	19 22	3 02	20 06	2 10	20 59
27	3 45	19 23	3 00	20 09	2 07	21 01
28	3 43	19 25	2 57	20 11	2 04	21 04
29	3 41	19 27	2 55	20 13	2 01	21 07
30	3 39	19 28	2 53	20 15	1 58	21 10

Maj

1	3 37	19 30	2 50	20 17	1 55	21 12
2	3 35	19 32	2 48	20 19	1 52	21 15
3	3 33	19 33	2 46	20 21	1 49	21 18
4	3 31	19 35	2 44	20 23	1 46	21 21
5	3 29	19 37	2 41	20 25	1 43	21 24
6	3 27	19 38	2 39	20 27	1 40	21 27
7	3 25	19 40	2 37	20 29	1 37	21 30
8	3 24	19 42	2 35	20 31	1 34	21 33
9	3 22	19 43	2 33	20 33	1 31	21 36
10	3 20	19 45	2 30	20 35	1 27	21 39
11	3 18	19 47	2 28	20 37	1 24	21 43
12	3 17	19 48	2 26	20 39	1 21	21 46
13	3 15	19 50	2 24	20 41	1 18	21 49
14	3 13	19 52	2 22	20 44	1 14	21 53
15	3 12	19 53	2 20	20 46	1 11	21 56
16	3 10	19 55	2 18	20 48	1 08	21 59
17	3 09	19 56	2 16	20 50	1 04	22 03
18	3 07	19 58	2 14	20 52	1 01	22 07
19	3 06	20 00	2 12	20 54	0 57	22 10
20	3 04	20 01	2 10	20 56	0 54	22 14
21	3 03	20 03	2 08	20 58	0 50	22 18
22	3 02	20 04	2 07	21 00	0 46	22 22
23	3 00	20 06	2 05	21 01	0 42	22 26
24	2 59	20 07	2 03	21 03	0 38	22 30
25	2 58	20 08	2 01	21 05	0 34	22 35
26	2 57	20 10	2 00	21 07	0 30	22 39
27	2 55	20 11	1 58	21 09	0 26	22 44
28	2 54	20 12	1 57	21 11	0 21	22 49
29	2 53	20 14	1 55	21 12	0 16	22 55
30	2 52	20 15	1 54	21 14	0 11	23 01
31	2 51	20 16	1 52	21 16	0 05	23 08

Czerwiec

1	2 50	20 17	1 51	21 17	23 58	23 18
2	2 49	20 19	1 50	21 19	23 48	// //
3	2 49	20 20	1 48	21 20	// //	// //
4	2 48	20 21	1 47	21 22	// //	// //
5	2 47	20 22	1 46	21 23	// //	// //
6	2 46	20 23	1 45	21 25	// //	// //
7	2 46	20 24	1 44	21 26	// //	// //
8	2 45	20 25	1 43	21 27	// //	// //
9	2 45	20 25	1 42	21 28	// //	// //
10	2 44	20 26	1 42	21 29	// //	// //
11	2 44	20 27	1 41	21 30	// //	// //
12	2 44	20 28	1 40	21 31	// //	// //
13	2 43	20 28	1 40	21 32	// //	// //
14	2 43	20 29	1 39	21 33	// //	// //
15	2 43	20 30	1 39	21 34	// //	// //
16	2 43	20 30	1 39	21 34	// //	// //
17	2 43	20 31	1 38	21 35	// //	// //
18	2 43	20 31	1 38	21 35	// //	// //
19	2 43	20 31	1 38	21 36	// //	// //
20	2 43	20 32	1 38	21 36	// //	// //
21	2 43	20 32	1 38	21 36	// //	// //
22	2 43	20 32	1 39	21 37	// //	// //
23	2 44	20 32	1 39	21 37	// //	// //
24	2 44	20 32	1 39	21 37	// //	// //
25	2 44	20 32	1 40	21 36	// //	// //
26	2 45	20 32	1 40	21 36	// //	// //
27	2 45	20 32	1 41	21 36	// //	// //
28	2 46	20 32	1 42	21 36	// //	// //
29	2 46	20 31	1 43	21 35	// //	// //
30	2 47	20 31	1 43	21 35	// //	// //

Lipiec

1	2 48	20 31	1 44	21 34	// //	// //
2	2 49	20 30	1 45	21 33	// //	// //
3	2 49	20 30	1 46	21 32	// //	// //
4	2 50	20 29	1 48	21 32	// //	// //
5	2 51	20 29	1 49	21 31	// //	// //
6	2 52	20 28	1 50	21 30	// //	// //
7	2 53	20 28	1 51	21 29	// //	// //
8	2 54	20 27	1 53	21 28	// //	// //
9	2 55	20 26	1 54	21 26	// //	// //
10	2 56	20 25	1 56	21 25	// //	23 26
11	2 57	20 24	1 57	21 24	23 56	23 17
12	2 58	20 23	1 59	21 22	0 06	23 10
13	3 00	20 22	2 01	21 21	0 13	23 04
14	3 01	20 21	2 02	21 20	0 20	22 58
15	3 02	20 20	2 04	21 18	0 25	22 53
16	3 03	20 19	2 06	21 16	0 30	22 49
17	3 05	20 18	2 07	21 15	0 35	22 44
18	3 06	20 17	2 09	21 13	0 40	22 40
19	3 07	20 16	2 11	21 11	0 44	22 36
20	3 09	20 14	2 13	21 10	0 48	22 32
21	3 10	20 13	2 15	21 08	0 52	22 29
22	3 12	20 12	2 17	21 06	0 56	22 25
23	3 13	20 10	2 19	21 04	1 00	22 21
24	3 15	20 09	2 21	21 02	1 04	22 18
25	3 16	20 07	2 22	21 00	1 07	22 14
26	3 18	20 06	2 24	20 58	1 11	22 11
27	3 19	20 04	2 26	20 56	1 14	22 07
28	3 21	20 03	2 28	20 54	1 18	22 04
29	3 22	20 01	2 30	20 52	1 21	22 00
30	3 24	19 59	2 32	20 50	1 24	21 57
31	3 25	19 58	2 34	20 48	1 28	21 54

Sierpień

1	3 27	19 56	2 36	20 46	1 31	21 50
2	3 29	19 54	2 38	20 44	1 34	21 47
3	3 30	19 52	2 40	20 42	1 37	21 44
4	3 32	19 51	2 42	20 40	1 40	21 41
5	3 33	19 49	2 44	20 37	1 43	21 38
6	3 35	19 47	2 46	20 35	1 46	21 34
7	3 37	19 45	2 48	20 33	1 49	21 31
8	3 38	19 43	2 50	20 31	1 52	21 28
9	3 40	19 41	2 52	20 28	1 55	21 25
10	3 42	19 39	2 54	20 26	1 58	21 22
11	3 43	19 37	2 56	20 24	2 00	21 19
12	3 45	19 35	2 58	20 21	2 03	21 16
13	3 46	19 33	3 00	20 19	2 06	21 13
14	3 48	19 31	3 02	20 17	2 09	21 10
15	3 50	19 29	3 04	20 15	2 11	21 07
16	3 51	19 27	3 06	20 12	2 14	21 04
17	3 53	19 25	3 08	20 10	2 16	21 01
18	3 55	19 23	3 10	20 07	2 19	20 58
19	3 56	19 21	3 12	20 05	2 21	20 55
20	3 58	19 19	3 14	20 03	2 24	20 52
21	3 59	19 17	3 16	20 00	2 26	20 49
22	4 01	19 15	3 18	19 58	2 29	20 46
23	4 03	19 13	3 20	19 56	2 31	20 43
24	4 04	19 11	3 22	19 53	2 34	20 41
25	4 06	19 08	3 23	19 51	2 36	20 38
26	4 08	19 06	3 25	19 48	2 38	20 35
27	4 09	19 04	3 27	19 46	2 40	20 32
28	4 11	19 02	3 29	19 43	2 43	20 29
29	4 12	19 00	3 31	19 41	2 45	20 26
30	4 14	18 58	3 33	19 39	2 47	20 24
31	4 16	18 55	3 34	19 36	2 49	20 21

Wrzesień

1	4 17	18 53	3 36	19 34	2 51	20 18
2	4 19	18 51	3 38	19 31	2 54	20 15
3	4 20	18 49	3 40	19 29	2 56	20 13
4	4 22	18 46	3 41	19 27	2 58	20 10
5	4 23	18 44	3 43	19 24	3 00	20 07
6	4 25	18 42	3 45	19 22	3 02	20 05
7	4 27	18 40	3 47	19 19	3 04	20 02
8	4 28	18 38	3 48	19 17	3 06	19 59
9	4 30	18 35	3 50	19 15	3 08	19 57
10	4 31	18 33	3 52	19 12	3 10	19 54
11	4 33	18 31	3 53	19 10	3 12	19 51
12	4 34	18 29	3 55	19 07	3 14	19 49
13	4 36	18 26	3 57	19 05	3 16	19 46
14	4 37	18 24	3 59	19 03	3 18	19 43
15	4 39	18 22	4 00	19 00	3 19	19 41
16	4 40	18 20	4 02	18 58	3 21	19 38
17	4 42	18 17	4 03	18 56	3 23	19 36
18	4 43	18 15	4 05	18 53	3 25	19 33
19	4 45	18 13	4 07	18 51	3 27	19 31
20	4 46	18 11	4 08	18 49	3 29	19 28
21	4 48	18 08	4 10	18 46	3 30	19 26
22	4 50	18 06	4 12	18 44	3 32	19 23
23	4 51	18 04	4 13	18 42	3 34	19 21
24	4 53	18 02	4 15	18 40	3 36	19 18
25	4 54	18 00	4 16	18 37	3 37	19 16
26	4 56	17 57	4 18	18 35	3 39	19 14
27	4 57	17 55	4 19	18 33	3 41	19 11
28	4 59	17 53	4 21	18 31	3 42	19 09
29	5 00	17 51	4 23	18 28	3 44	19 07
30	5 02	17 49	4 24	18 26	3 46	19 04

Październik

1	5 03	17 47	4 26	18 24	3 47	19 02
2	5 05	17 44	4 27	18 22	3 49	19 00
3	5 06	17 42	4 29	18 20	3 51	18 57
4	5 08	17 40	4 30	18 17	3 52	18 55
5	5 09	17 38	4 32	18 15	3 54	18 53
6	5 11	17 36	4 33	18 13	3 56	18 51
7	5 12	17 34	4 35	18 11	3 57	18 49
8	5 14	17 32	4 36	18 09	3 59	18 46
9	5 15	17 30	4 38	18 07	4 00	18 44
10	5 17	17 28	4 40	18 05	4 02	18 42
11	5 18	17 26	4 41	18 03	4 04	18 40
12	5 20	17 24	4 43	18 01	4 05	18 38
13	5 21	17 22	4 44	17 59	4 07	18 36
14	5 23	17 20	4 46	17 57	4 08	18 34
15	5 24	17 18	4 47	17 55	4 10	18 32
16	5 26	17 16	4 49	17 53	4 11	18 30
17	5 27	17 14	4 50	17 51	4 13	18 28
18	5 29	17 12	4 52	17 49	4 14	18 26
19	5 31	17 10	4 53	17 47	4 16	18 24
20	5 32	17 08	4 55	17 45	4 17	18 23
21	5 34	17 06	4 56	17 44	4 19	18 21
22	5 35	17 04	4 58	17 42	4 20	18 19
23	5 37	17 02	4 59	17 40	4 22	18 17
24	5 38	17 01	5 01	17 38	4 23	18 15
25	5 40	16 59	5 02	17 36	4 25	18 14
26	5 41	16 57	5 04	17 35	4 26	18 12
27	5 43	16 55	5 05	17 33	4 28	18 10
28	5 44	16 54	5 07	17 31	4 29	18 09
29	5 46	16 52	5 08	17 30	4 31	18 07
30	5 48	16 50	5 10	17 28	4 32	18 05
31	5 49	16 49	5 11	17 27	4 34	18 04

Listopad

1	5 51	16 47	5 13	17 25	4 35	18 02
2	5 52	16 46	5 14	17 24	4 37	18 01
3	5 54	16 44	5 16	17 22	4 38	17 59
4	5 55	16 42	5 17	17 21	4 40	17 58
5	5 57	16 41	5 19	17 19	4 41	17 57
6	5 58	16 40	5 20	17 18	4 42	17 55
7	6 00	16 38	5 21	17 17	4 44	17 54
8	6 01	16 37	5 23	17 15	4 45	17 53
9	6 03	16 35	5 24	17 14	4 47	17 52
10	6 04	16 34	5 26	17 13	4 48	17 50
11	6 06	16 33	5 27	17 11	4 49	17 49
12	6 08	16 31	5 29	17 10	4 51	17 48
13	6 09	16 30	5 30	17 09	4 52	17 47
14	6 11	16 29	5 31	17 08	4 54	17 46
15	6 12	16 28	5 33	17 07	4 55	17 45
16	6 14	16 27	5 34	17 06	4 56	17 44
17	6 15	16 26	5 36	17 05	4 58	17 43
18	6 16	16 25	5 37	17 04	4 59	17 42
19	6 18	16 24	5 38	17 03	5 00	17 41
20	6 19	16 23	5 40	17 02	5 02	17 40
21	6 21	16 22	5 41	17 01	5 03	17 40
22	6 22	16 21	5 42	17 01	5 04	17 39
23	6 24	16 20	5 44	17 00	5 05	17 38
24	6 25	16 19	5 45	16 59	5 07	17 38
25	6 26	16 19	5 46	16 59	5 08	17 37
26	6 28	16 18	5 47	16 58	5 09	17 36
27	6 29	16 17	5 49	16 57	5 10	17 36
28	6 30	16 17	5 50	16 57	5 11	17 35
29	6 32	16 16	5 51	16 56	5 12	17 35
30	6 33	16 15	5 52	16 56	5 14	17 35

Grudzień

1	6 34	16 15	5 53	16 55	5 15	17 34
2	6 35	16 14	5 55	16 55	5 16	17 34
3	6 36	16 14	5 56	16 55	5 17	17 34
4	6 38	16 14	5 57	16 54	5 18	17 33
5	6 39	16 13	5 58	16 54	5 19	17 33
6	6 40	16 13	5 59	16 54	5 20	17 33
7	6 41	16 13	6 00	16 54	5 21	17 33
8	6 42	16 13	6 01	16 54	5 22	17 33
9	6 43	16 13	6 02	16 54	5 23	17 33
10	6 44	16 13	6 03	16 54	5 24	17 33
11	6 45	16 13	6 04	16 54	5 25	17 33
12	6 46	16 13	6 05	16 54	5 25	17 33
13	6 47	16 13	6 05	16 54	5 26	17 33
14	6 47	16 13	6 06	16 54	5 27	17 33
15	6 48	16 13	6 07	16 54	5 28	17 34
16	6 49	16 13	6 08	16 55	5 28	17 34
17	6 50	16 14	6 08	16 55	5 29	17 34
18	6 50	16 14	6 09	16 55	5 30	17 35
19	6 51	16 14	6 10	16 56	5 30	17 35
20	6 52	16 15	6 10	16 56	5 31	17 35
21	6 52	16 15	6 11	16 57	5 31	17 36
22	6 53	16 16	6 11	16 57	5 32	17 36
23	6 53	16 16	6 12	16 58	5 32	17 37
24	6 54	16 17	6 12	16 58	5 33	17 37
25	6 54	16 17	6 13	16 59	5 33	17 38
26	6 54	16 18	6 13	17 00	5 34	17 39
27	6 55	16 19	6 13	17 00	5 34	17 39
28	6 55	16 20	6 13	17 01	5 34	17 40
29	6 55	16 20	6 14	17 02	5 34	17 41
30	6 55	16 21	6 14	17 03	5 35	17 42
31	6 55	16 22	6 14	17 03	5 35	17 43

Tabela 7. Wschody, górowania i zachody Księżyca w Rzepienniku Biskupim.

W kolumnach podano środkowoeuropejskie czasy występowania zjawisk w godzinach i minutach. Dodatkowo, w nawiasach, podano w stopniach azymuty wschodzącego i zachodzącego Księżyca oraz wysokość Księżyca w czasie górowania. Azymut podano zgodnie z konwencją liczenia go od punktu kardynalnego horyzontu N w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Literką *p* oznaczono przypadki, kiedy wschód odbywa się przed północą (zatem dnia poprzedniego). Z kolei, literką *f* oznaczono przypadki, gdy zachód odbywa się po północy (zatem dnia następnego).

	wschód		górowanie		zachód	
	h	m °	h	m °	h	m °
Styczeń						
1	15	28 (58)	23	28 (s60)	f 7	30 (302)
3	p16	33 (59)	0	32 (s60)	8	25 (300)
4	p17	46 (62)	1	34 (s57)	9	11 (295)
5	p19	02 (67)	2	31 (s54)	9	48 (290)
6	p20	19 (73)	3	25 (s50)	10	19 (283)
7	p21	33 (80)	4	16 (s45)	10	46 (276)
8	p22	45 (88)	5	04 (s41)	11	11 (269)
9	p23	54 (95)	5	49 (s36)	11	35 (262)
10	1	00 (102)	6	34 (s32)	11	59 (256)
11	2	05 (108)	7	19 (s28)	12	26 (250)
12	3	08 (113)	8	04 (s25)	12	55 (245)
13	4	08 (117)	8	51 (s23)	13	28 (241)
14	5	06 (120)	9	38 (s21)	14	07 (239)
15	5	59 (122)	10	25 (s20)	14	51 (238)
16	6	47 (122)	11	13 (s20)	15	41 (238)
17	7	29 (120)	12	01 (s22)	16	37 (241)
18	8	05 (117)	12	48 (s24)	17	37 (244)
19	8	37 (113)	13	35 (s26)	18	39 (249)
20	9	05 (107)	14	20 (s30)	19	44 (255)
21	9	31 (101)	15	06 (s34)	20	50 (262)
22	9	55 (95)	15	51 (s38)	21	57 (269)
23	10	19 (88)	16	37 (s43)	23	06 (276)
24	10	44 (81)	17	25 (s47)	f 0	18 (283)
25	11	12 (74)	18	15 (s52)	f 1	31 (290)
26	11	44 (68)	19	09 (s55)	f 2	45 (295)
27	12	23 (63)	20	06 (s58)	f 3	58 (300)
28	13	10 (59)	21	07 (s60)	f 5	07 (302)
29	14	08 (58)	22	09 (s60)	f 6	08 (301)
30	15	16 (60)	23	11 (s59)	f 6	59 (298)
Luty						
1	p16	31 (64)	0	12 (s56)	7	41 (293)
2	p17	50 (70)	1	09 (s52)	8	15 (286)
3	p19	08 (77)	2	03 (s48)	8	45 (279)
4	p20	23 (84)	2	54 (s43)	9	12 (272)
5	p21	36 (92)	3	42 (s38)	9	37 (265)
6	p22	45 (99)	4	29 (s34)	10	02 (258)
7	p23	53 (105)	5	15 (s30)	10	28 (252)
8	0	57 (111)	6	00 (s26)	10	57 (247)
9	1	59 (116)	6	47 (s23)	11	29 (243)
10	2	58 (119)	7	33 (s21)	12	05 (240)
11	3	53 (122)	8	21 (s20)	12	47 (238)
12	4	43 (122)	9	09 (s20)	13	35 (238)
13	5	27 (121)	9	57 (s21)	14	29 (240)
14	6	05 (118)	10	44 (s23)	15	28 (243)
15	6	39 (114)	11	31 (s25)	16	30 (247)
16	7	09 (109)	12	18 (s29)	17	35 (253)
17	7	35 (103)	13	04 (s33)	18	42 (259)
18	8	00 (97)	13	49 (s37)	19	49 (266)
19	8	24 (90)	14	35 (s41)	20	58 (274)
20	8	49 (83)	15	23 (s46)	22	08 (281)
21	9	15 (76)	16	11 (s50)	23	20 (288)
22	9	45 (70)	17	03 (s54)	f 0	32 (294)
23	10	20 (64)	17	57 (s57)	f 1	44 (298)
24	11	02 (60)	18	54 (s59)	f 2	52 (301)
25	11	54 (58)	19	54 (s60)	f 3	54 (302)
26	12	55 (59)	20	54 (s60)	f 4	47 (300)
27	14	05 (61)	21	54 (s58)	f 5	32 (296)
28	15	21 (66)	22	52 (s54)	f 6	10 (290)

Marzec

2	p16 39 (73)	p23 47 (s50)	6 42 (283)
3	p17 56 (80)	0 39 (s45)	7 10 (276)
4	p19 11 (88)	1 30 (s40)	7 36 (268)
5	p20 24 (95)	2 18 (s36)	8 02 (261)
6	p21 34 (103)	3 06 (s31)	8 28 (255)
7	p22 42 (109)	3 53 (s28)	8 56 (249)
8	p23 47 (114)	4 40 (s24)	9 27 (244)
9	0 48 (118)	5 27 (s22)	10 02 (240)
10	1 45 (121)	6 15 (s21)	10 42 (238)
11	2 37 (122)	7 03 (s20)	11 28 (238)
12	3 23 (122)	7 50 (s21)	12 20 (239)
13	4 04 (120)	8 38 (s22)	13 16 (241)
14	4 39 (116)	9 25 (s24)	14 18 (246)
15	5 10 (111)	10 12 (s27)	15 22 (251)
16	5 38 (106)	10 59 (s31)	16 29 (257)
17	6 03 (99)	11 45 (s35)	17 37 (264)
18	6 28 (92)	12 32 (s40)	18 47 (271)
19	6 52 (85)	13 19 (s45)	19 58 (279)
20	7 19 (78)	14 08 (s49)	21 11 (286)
21	7 47 (71)	14 59 (s53)	22 24 (292)
22	8 21 (66)	15 53 (s57)	23 36 (297)
23	9 00 (61)	16 49 (s59)	f 0 45 (301)
24	9 48 (58)	17 47 (s60)	f 1 48 (302)
25	10 45 (58)	18 46 (s60)	f 2 43 (301)
26	11 51 (60)	19 44 (s59)	f 3 29 (298)
27	13 02 (64)	20 41 (s56)	f 4 08 (293)
28	14 17 (70)	21 35 (s52)	f 4 41 (286)
29	15 33 (77)	22 28 (s48)	f 5 09 (279)
30	16 48 (84)	23 18 (s43)	f 5 36 (272)

Kwiecień

1	p18 02 (92)	0 07 (s38)	6 01 (264)
2	p19 13 (99)	0 55 (s33)	6 27 (257)
3	p20 23 (106)	1 43 (s29)	6 54 (251)
4	p21 31 (112)	2 31 (s26)	7 24 (246)
5	p22 35 (117)	3 19 (s23)	7 57 (241)
6	p23 35 (121)	4 07 (s21)	8 35 (239)
7	0 30 (122)	4 55 (s20)	9 19 (237)
8	1 19 (123)	5 43 (s20)	10 09 (238)
9	2 01 (121)	6 31 (s21)	11 04 (240)
10	2 38 (118)	7 18 (s23)	12 03 (243)
11	3 11 (114)	8 05 (s26)	13 06 (248)
12	3 39 (109)	8 51 (s29)	14 12 (254)
13	4 05 (102)	9 37 (s33)	15 19 (261)
14	4 30 (95)	10 24 (s38)	16 29 (268)
15	4 54 (88)	11 12 (s43)	17 41 (276)
16	5 20 (81)	12 01 (s47)	18 55 (283)
17	5 48 (74)	12 52 (s52)	20 10 (290)
18	6 20 (67)	13 47 (s56)	21 25 (296)
19	6 58 (62)	14 43 (s59)	22 37 (300)
20	7 44 (59)	15 42 (s60)	23 44 (302)
21	8 38 (57)	16 41 (s61)	f 0 42 (302)
22	9 42 (59)	17 39 (s59)	f 1 30 (299)
23	10 51 (62)	18 36 (s57)	f 2 10 (295)
24	12 04 (67)	19 30 (s54)	f 2 44 (289)
25	13 19 (74)	20 22 (s49)	f 3 13 (282)
26	14 32 (81)	21 12 (s45)	f 3 39 (275)
27	15 45 (89)	22 00 (s40)	f 4 03 (267)
28	16 56 (96)	22 48 (s35)	f 4 28 (260)
30	p18 06 (104)	p23 35 (s31)	4 54 (254)

Maj

1	p19 15 (110)	0 22 (s27)	5 22 (248)
2	p20 21 (115)	1 10 (s24)	5 53 (243)
3	p21 24 (120)	1 59 (s21)	6 30 (239)
4	p22 22 (122)	2 47 (s20)	7 11 (237)
5	p23 13 (123)	3 36 (s20)	7 59 (237)
6	p23 59 (122)	4 24 (s20)	8 52 (238)
7	0 38 (120)	5 11 (s22)	9 49 (241)
8	1 12 (116)	5 58 (s24)	10 50 (246)
9	1 41 (111)	6 44 (s27)	11 54 (251)
10	2 07 (105)	7 29 (s31)	13 00 (257)
11	2 32 (99)	8 15 (s36)	14 08 (264)
12	2 56 (92)	9 01 (s40)	15 19 (272)
13	3 20 (84)	9 50 (s45)	16 32 (280)
14	3 47 (77)	10 40 (s50)	17 48 (287)
15	4 17 (70)	11 34 (s54)	19 05 (294)
16	4 52 (64)	12 31 (s58)	20 21 (299)
17	5 36 (60)	13 31 (s60)	21 33 (302)
18	6 28 (57)	14 32 (s61)	22 36 (303)
19	7 30 (58)	15 33 (s60)	23 29 (301)
20	8 40 (60)	16 32 (s58)	f 0 13 (297)
21	9 54 (65)	17 27 (s55)	f 0 49 (291)
22	11 08 (72)	18 20 (s51)	f 1 18 (284)
23	12 22 (79)	19 10 (s46)	f 1 45 (277)
24	13 34 (86)	19 58 (s42)	f 2 09 (270)
25	14 45 (94)	20 45 (s37)	f 2 33 (263)
26	15 55 (101)	21 31 (s32)	f 2 57 (256)
27	17 03 (108)	22 17 (s28)	f 3 24 (250)
28	18 09 (114)	23 05 (s25)	f 3 53 (244)
30	p19 13 (118)	p23 53 (s22)	4 27 (240)
31	p20 13 (122)	0 41 (s20)	5 06 (238)

Czerwiec

1	p21 08 (123)	1 30 (s20)	5 51 (237)
2	p21 56 (123)	2 18 (s20)	6 42 (237)
3	p22 38 (121)	3 06 (s21)	7 38 (240)
4	p23 13 (118)	3 53 (s23)	8 38 (243)
5	p23 44 (114)	4 38 (s26)	9 40 (248)
6	0 11 (108)	5 23 (s29)	10 44 (254)
7	0 35 (102)	6 08 (s34)	11 50 (261)
8	0 58 (95)	6 53 (s38)	12 58 (268)
9	1 22 (88)	7 39 (s43)	14 09 (276)
10	1 46 (81)	8 27 (s48)	15 22 (283)
11	2 14 (74)	9 19 (s52)	16 38 (290)
12	2 46 (67)	10 14 (s56)	17 55 (297)
13	3 25 (62)	11 13 (s59)	19 11 (301)
14	4 14 (58)	12 15 (s61)	20 21 (303)
15	5 13 (57)	13 18 (s61)	21 21 (302)
16	6 22 (59)	14 20 (s59)	22 10 (299)
17	7 37 (63)	15 19 (s56)	22 50 (294)
18	8 54 (69)	16 15 (s53)	23 23 (287)
19	10 10 (76)	17 07 (s48)	23 51 (280)
20	11 24 (84)	17 56 (s43)	f 0 16 (272)
21	12 36 (91)	18 43 (s38)	f 0 39 (265)
22	13 46 (99)	19 30 (s34)	f 1 03 (258)
23	14 54 (106)	20 16 (s30)	f 1 29 (252)
24	16 00 (112)	21 02 (s26)	f 1 56 (246)
25	17 05 (117)	21 49 (s23)	f 2 28 (242)
26	18 06 (121)	22 37 (s21)	f 3 05 (238)
27	19 02 (123)	23 26 (s20)	f 3 48 (237)
29	p19 53 (123)	0 14 (s20)	4 36 (237)
30	p20 37 (122)	1 02 (s20)	5 30 (239)

Lipiec

1	p21 15 (120)	1 49 (s22)	6 29 (242)
2	p21 47 (116)	2 35 (s25)	7 30 (246)
3	p22 15 (110)	3 20 (s28)	8 33 (252)
4	p22 40 (105)	4 04 (s32)	9 38 (258)
5	p23 03 (98)	4 48 (s36)	10 44 (265)
6	p23 25 (91)	5 33 (s41)	11 51 (272)
7	p23 49 (84)	6 19 (s45)	13 01 (280)
8	0 14 (77)	7 07 (s50)	14 14 (287)
9	0 42 (70)	7 59 (s54)	15 29 (294)
10	1 17 (64)	8 55 (s58)	16 44 (299)
11	1 59 (60)	9 55 (s60)	17 57 (302)
12	2 53 (57)	10 58 (s61)	19 03 (303)
13	3 57 (57)	12 01 (s60)	19 59 (301)
14	5 11 (61)	13 04 (s58)	20 45 (296)
15	6 30 (66)	14 03 (s54)	21 22 (290)
16	7 50 (73)	14 58 (s50)	21 52 (283)
17	9 08 (80)	15 50 (s45)	22 19 (275)
18	10 23 (88)	16 40 (s40)	22 44 (268)
19	11 35 (96)	17 27 (s35)	23 09 (261)
20	12 44 (103)	18 14 (s31)	23 33 (254)
21	13 52 (110)	19 00 (s27)	f 0 00 (248)
22	14 57 (115)	19 47 (s24)	f 0 31 (243)
23	15 59 (119)	20 34 (s21)	f 1 06 (239)
24	16 57 (122)	21 23 (s20)	f 1 46 (237)
25	17 50 (123)	22 11 (s20)	f 2 32 (237)
26	18 36 (123)	22 59 (s20)	f 3 25 (238)
28	p19 16 (121)	p23 47 (s21)	4 22 (241)
29	p19 50 (117)	0 33 (s24)	5 23 (245)
30	p20 19 (112)	1 18 (s27)	6 25 (250)
31	p20 45 (107)	2 03 (s31)	7 29 (256)

Sierpień

1	p21 08 (100)	2 46 (s35)	8 34 (263)
2	p21 31 (94)	3 30 (s39)	9 40 (270)
3	p21 53 (87)	4 15 (s44)	10 48 (277)
4	p22 17 (80)	5 01 (s48)	11 58 (284)
5	p22 43 (73)	5 50 (s52)	13 09 (291)
6	p23 13 (67)	6 42 (s56)	14 23 (297)
7	p23 51 (62)	7 38 (s59)	15 35 (301)
8	0 37 (58)	8 38 (s61)	16 43 (303)
9	1 35 (57)	9 40 (s61)	17 43 (302)
10	2 43 (59)	10 43 (s59)	18 34 (299)
11	4 00 (63)	11 44 (s56)	19 15 (294)
12	5 21 (69)	12 43 (s52)	19 50 (287)
13	6 42 (77)	13 38 (s48)	20 19 (279)
14	8 01 (85)	14 30 (s42)	20 45 (271)
15	9 17 (93)	15 20 (s37)	21 11 (263)
16	10 30 (101)	16 08 (s33)	21 36 (256)
17	11 40 (107)	16 56 (s28)	22 03 (250)
18	12 47 (113)	17 43 (s25)	22 32 (245)
19	13 51 (118)	18 31 (s22)	23 06 (240)
20	14 51 (122)	19 19 (s20)	23 44 (238)
21	15 45 (123)	20 07 (s20)	f 0 29 (237)
22	16 34 (123)	20 56 (s20)	f 1 19 (237)
23	17 15 (122)	21 43 (s21)	f 2 15 (239)
24	17 51 (118)	22 30 (s23)	f 3 15 (243)
25	18 22 (114)	23 16 (s26)	f 4 17 (248)
27	p18 49 (108)	0 01 (s29)	5 21 (254)
28	p19 13 (102)	0 45 (s33)	6 27 (261)
29	p19 36 (96)	1 29 (s38)	7 33 (268)
30	p19 58 (89)	2 13 (s42)	8 40 (275)
31	p20 21 (82)	2 59 (s47)	9 49 (282)

Wrzesień

1	p20 46 (75)	3 46 (s51)	10 59 (289)
2	p21 14 (68)	4 36 (s55)	12 10 (295)
3	p21 48 (63)	5 29 (s58)	13 21 (300)
4	p22 29 (59)	6 26 (s60)	14 29 (303)
5	p23 21 (57)	7 25 (s61)	15 30 (303)
6	0 22 (57)	8 26 (s60)	16 23 (301)
7	1 34 (60)	9 26 (s58)	17 08 (297)
8	2 52 (66)	10 25 (s55)	17 44 (290)
9	4 12 (73)	11 21 (s50)	18 16 (283)
10	5 33 (81)	12 15 (s45)	18 44 (275)
11	6 51 (89)	13 07 (s40)	19 10 (267)
12	8 08 (97)	13 57 (s35)	19 35 (259)
13	9 21 (105)	14 46 (s30)	20 02 (252)
14	10 32 (111)	15 35 (s26)	20 31 (246)
15	11 39 (117)	16 24 (s23)	21 03 (242)
16	12 42 (121)	17 13 (s21)	21 40 (238)
17	13 39 (123)	18 02 (s20)	22 23 (237)
18	14 30 (124)	18 51 (s19)	23 12 (237)
19	15 14 (123)	19 39 (s20)	f 0 06 (238)
20	15 52 (120)	20 26 (s22)	f 1 04 (242)
21	16 24 (116)	21 12 (s25)	f 2 06 (246)
22	16 52 (111)	21 57 (s28)	f 3 10 (252)
23	17 17 (105)	22 42 (s32)	f 4 16 (258)
24	17 41 (98)	23 26 (s36)	f 5 23 (265)
26	p18 03 (91)	0 11 (s41)	6 31 (273)
27	p18 26 (84)	0 57 (s46)	7 40 (280)
28	p18 50 (77)	1 44 (s50)	8 51 (287)
29	p19 17 (70)	2 33 (s54)	10 02 (294)
30	p19 49 (64)	3 26 (s58)	11 13 (299)

Październik

1	p20 27 (60)	4 21 (s60)	12 21 (302)
2	p21 14 (57)	5 18 (s61)	13 24 (304)
3	p22 11 (57)	6 16 (s61)	14 18 (302)
4	p23 17 (59)	7 15 (s59)	15 04 (299)
5	0 31 (63)	8 13 (s56)	15 42 (293)
6	1 48 (69)	9 08 (s52)	16 15 (287)
7	3 07 (77)	10 02 (s47)	16 43 (279)
8	4 25 (85)	10 54 (s42)	17 09 (271)
9	5 43 (93)	11 44 (s37)	17 34 (263)
10	6 58 (101)	12 34 (s32)	18 00 (255)
11	8 11 (109)	13 24 (s28)	18 28 (249)
12	9 22 (115)	14 14 (s24)	18 59 (243)
13	10 28 (120)	15 04 (s21)	19 34 (239)
14	11 30 (123)	15 54 (s20)	20 15 (237)
15	12 24 (124)	16 43 (s19)	21 02 (236)
16	13 11 (124)	17 32 (s20)	21 55 (237)
17	13 52 (121)	18 20 (s21)	22 52 (240)
18	14 26 (118)	19 06 (s23)	23 53 (244)
19	14 55 (113)	19 52 (s26)	f 0 56 (249)
20	15 21 (107)	20 36 (s30)	f 2 01 (255)
21	15 44 (101)	21 21 (s34)	f 3 07 (262)
22	16 07 (94)	22 05 (s39)	f 4 16 (270)
23	16 29 (87)	22 51 (s44)	f 5 25 (277)
25	p16 53 (79)	p23 38 (s49)	6 37 (285)
26	p17 19 (72)	0 28 (s53)	7 50 (292)
27	p17 49 (66)	1 20 (s57)	9 04 (298)
28	p18 25 (61)	2 16 (s60)	10 15 (302)
29	p19 10 (57)	3 13 (s61)	11 20 (304)
30	p20 04 (56)	4 12 (s61)	12 17 (303)
31	p21 07 (57)	5 10 (s60)	13 05 (301)

Listopad

1	p22 18 (61)	6 07 (s58)	13 45 (296)
2	p23 33 (67)	7 02 (s54)	14 18 (289)
3	0 50 (74)	7 55 (s49)	14 46 (282)
4	2 07 (81)	8 46 (s44)	15 11 (274)
5	3 22 (90)	9 35 (s39)	15 36 (266)
6	4 37 (98)	10 24 (s34)	16 00 (259)
7	5 51 (105)	11 14 (s30)	16 27 (252)
8	7 03 (112)	12 03 (s25)	16 56 (245)
9	8 12 (118)	12 53 (s22)	17 29 (240)
10	9 17 (122)	13 44 (s20)	18 07 (237)
11	10 15 (124)	14 34 (s19)	18 52 (236)
12	11 06 (124)	15 24 (s19)	19 43 (236)
13	11 50 (123)	16 12 (s20)	20 39 (238)
14	12 26 (120)	17 00 (s22)	21 38 (242)
15	12 57 (116)	17 45 (s25)	22 40 (246)
16	13 24 (110)	18 30 (s28)	23 44 (252)
17	13 48 (104)	19 14 (s32)	f 0 49 (259)
18	14 10 (97)	19 58 (s37)	f 1 56 (266)
19	14 32 (90)	20 42 (s41)	f 3 05 (274)
20	14 54 (83)	21 29 (s46)	f 4 16 (281)
21	15 19 (75)	22 17 (s51)	f 5 30 (289)
22	15 47 (69)	23 09 (s55)	f 6 45 (295)
24	p16 21 (63)	0 05 (s59)	8 00 (301)
25	p17 03 (58)	1 03 (s61)	9 10 (304)
26	p17 55 (56)	2 04 (s62)	10 13 (304)
27	p18 57 (56)	3 04 (s61)	11 05 (302)
28	p20 07 (59)	4 03 (s59)	11 48 (298)
29	p21 22 (64)	4 59 (s55)	12 23 (292)
30	p22 39 (71)	5 52 (s51)	12 52 (285)

Grudzień

1	p23 55 (79)	6 43 (s46)	13 17 (277)
2	1 10 (87)	7 32 (s41)	13 41 (269)
3	2 23 (95)	8 20 (s36)	14 05 (262)
4	3 36 (103)	9 08 (s31)	14 29 (254)
5	4 47 (110)	9 56 (s27)	14 56 (248)
6	5 57 (116)	10 45 (s23)	15 27 (242)
7	7 03 (120)	11 35 (s21)	16 03 (238)
8	8 05 (124)	12 26 (s19)	16 44 (236)
9	8 59 (125)	13 16 (s19)	17 33 (235)
10	9 46 (124)	14 05 (s19)	18 27 (237)
11	10 26 (122)	14 53 (s21)	19 25 (240)
12	10 59 (118)	15 40 (s23)	20 26 (244)
13	11 27 (113)	16 24 (s27)	21 29 (249)
14	11 51 (107)	17 08 (s30)	22 33 (256)
15	12 14 (101)	17 51 (s35)	23 38 (263)
16	12 35 (94)	18 34 (s39)	f 0 45 (270)
17	12 56 (86)	19 18 (s44)	f 1 53 (277)
18	13 19 (79)	20 05 (s49)	f 3 04 (285)
19	13 45 (72)	20 55 (s53)	f 4 18 (292)
20	14 15 (66)	21 48 (s57)	f 5 34 (298)
21	14 53 (60)	22 46 (s60)	f 6 48 (302)
23	p15 40 (57)	p23 47 (s62)	7 57 (304)
24	p16 39 (56)	0 49 (s62)	8 56 (303)
25	p17 48 (57)	1 51 (s60)	9 45 (300)
26	p19 05 (62)	2 51 (s57)	10 24 (294)
27	p20 24 (68)	3 47 (s53)	10 56 (287)
28	p21 43 (76)	4 40 (s48)	11 23 (280)
29	p22 59 (84)	5 30 (s43)	11 48 (272)
30	0 14 (92)	6 19 (s38)	12 11 (264)
31	1 26 (100)	7 06 (s33)	12 35 (257)

Tabela 8. Czas gwiazdowy dla Rzepiennika Biskupiego.
(widomy, o godzinie 0 UT wyszczególnionych dat)

h m s		
Styczeń	Luty	Marzec
1 8 06 43.0310	1 10 08 56.3037	1 11 59 19.8068
2 8 10 39.5970	2 10 12 52.8582	2 12 03 16.3569
3 8 14 36.1621	3 10 16 49.4094	3 12 07 12.9046
4 8 18 32.7245	4 10 20 45.9589	4 12 11 09.4512
5 8 22 29.2832	5 10 24 42.5080	5 12 15 05.9983
6 8 26 25.8383	6 10 28 39.0579	6 12 19 02.5470
7 8 30 22.3910	7 10 32 35.6094	7 12 22 59.0976
8 8 34 18.9426	8 10 36 32.1629	8 12 26 55.6504
9 8 38 15.4944	9 10 40 28.7183	9 12 30 52.2049
10 8 42 12.0472	10 10 44 25.2751	10 12 34 48.7606
11 8 46 08.6018	11 10 48 21.8328	11 12 38 45.3167
12 8 50 05.1584	12 10 52 18.3908	12 12 42 41.8726
13 8 54 01.7167	13 10 56 14.9483	13 12 46 38.4275
14 8 57 58.2764	14 11 00 11.5046	14 12 50 34.9810
15 9 01 54.8368	15 11 04 08.0592	15 12 54 31.5325
16 9 05 51.3974	16 11 08 04.6116	16 12 58 28.0819
17 9 09 47.9573	17 11 12 01.1620	17 13 02 24.6296
18 9 13 44.5158	18 11 15 57.7107	18 13 06 21.1760
19 9 17 41.0725	19 11 19 54.2585	19 13 10 17.7223
20 9 21 37.6271	20 11 23 50.8063	20 13 14 14.2696
21 9 25 34.1797	21 11 27 47.3554	21 13 18 10.8191
22 9 29 30.7309	22 11 31 43.9066	22 13 22 07.3715
23 9 33 27.2812	23 11 35 40.4607	23 13 26 03.9269
24 9 37 23.8319	24 11 39 37.0177	24 13 30 00.4846
25 9 41 20.3841	25 11 43 33.5769	25 13 33 57.0435
26 9 45 16.9388	26 11 47 30.1371	26 13 37 53.6021
27 9 49 13.4966	27 11 51 26.6964	27 13 41 50.1587
28 9 53 10.0575	28 11 55 23.2533	28 13 45 46.7125
29 9 57 06.6205		29 13 49 43.2631
30 10 01 03.1838		30 13 53 39.8111
31 10 04 59.7454		31 13 57 36.3576

Kwiecień

1 14 01 32.9041
 2 14 05 29.4518
 3 14 09 26.0016
 4 14 13 22.5537
 5 14 17 19.1079
 6 14 21 15.6636
 7 14 25 12.2201
 8 14 29 08.7767
 9 14 33 05.3325
 10 14 37 01.8871
 11 14 40 58.4399
 12 14 44 54.9908
 13 14 48 51.5398
 14 14 52 48.0874
 15 14 56 44.6346
 16 15 00 41.1824
 17 15 04 37.7323
 18 15 08 34.2851
 19 15 12 30.8413
 20 15 16 27.4002
 21 15 20 23.9607
 22 15 24 20.5211
 23 15 28 17.0798
 24 15 32 13.6358
 25 15 36 10.1887
 26 15 40 06.7389
 27 15 44 03.2875
 28 15 47 59.8356
 29 15 51 56.3847
 30 15 55 52.9356

Maj

1 15 59 49.4888
 2 16 03 46.0443
 3 16 07 42.6017
 4 16 11 39.1602
 5 16 15 35.7191
 6 16 19 32.2775
 7 16 23 28.8348
 8 16 27 25.3904
 9 16 31 21.9442
 10 16 35 18.4961
 11 16 39 15.0464
 12 16 43 11.5960
 13 16 47 08.1457
 14 16 51 04.6969
 15 16 55 01.2509
 16 16 58 57.8084
 17 17 02 54.3693
 18 17 06 50.9324
 19 17 10 47.4960
 20 17 14 44.0581
 21 17 18 40.6175
 22 17 22 37.1736
 23 17 26 33.7267
 24 17 30 30.2778
 25 17 34 26.8282
 26 17 38 23.3791
 27 17 42 19.9317
 28 17 46 16.4864
 29 17 50 13.0434
 30 17 54 09.6023
 31 17 58 06.1627

Czerwiec

1 18 02 02.7237
 2 18 05 59.2844
 3 18 09 55.8441
 4 18 13 52.4023
 5 18 17 48.9586
 6 18 21 45.5130
 7 18 25 42.0656
 8 18 29 38.6172
 9 18 33 35.1685
 10 18 37 31.7207
 11 18 41 28.2750
 12 18 45 24.8325
 13 18 49 21.3937
 14 18 53 17.9578
 15 18 57 14.5234
 16 19 01 11.0882
 17 19 05 07.6504
 18 19 09 04.2091
 19 19 13 00.7643
 20 19 16 57.3169
 21 19 20 53.8684
 22 19 24 50.4200
 23 19 28 46.9730
 24 19 32 43.5279
 25 19 36 40.0850
 26 19 40 36.6442
 27 19 44 33.2048
 28 19 48 29.7661
 29 19 52 26.3274
 30 19 56 22.8878

Lipiec

1 20 00 19.4468
 2 20 04 16.0039
 3 20 08 12.5589
 4 20 12 09.1121
 5 20 16 05.6638
 6 20 20 02.2150
 7 20 23 58.7666
 8 20 27 55.3197
 9 20 31 51.8755
 10 20 35 48.4345
 11 20 39 44.9968
 12 20 43 41.5614
 13 20 47 38.1264
 14 20 51 34.6896
 15 20 55 31.2494
 16 20 59 27.8052
 17 21 03 24.3578
 18 21 07 20.9086
 19 21 11 17.4591
 20 21 15 14.0105
 21 21 19 10.5638
 22 21 23 07.1192
 23 21 27 03.6766
 24 21 31 00.2356
 25 21 34 56.7954
 26 21 38 53.3553
 27 21 42 49.9145
 28 21 46 46.4723
 29 21 50 43.0282
 30 21 54 39.5821
 31 21 58 36.1340

Sierpień

1 22 02 32.6843
 2 22 06 29.2337
 3 22 10 25.7832
 4 22 14 22.3338
 5 22 18 18.8866
 6 22 22 15.4422
 7 22 26 12.0009
 8 22 30 08.5622
 9 22 34 05.1248
 10 22 38 01.6867
 11 22 41 58.2460
 12 22 45 54.8015
 13 22 49 51.3532
 14 22 53 47.9022
 15 22 57 44.4503
 16 23 01 40.9991
 17 23 05 37.5496
 18 23 09 34.1022
 19 23 13 30.6569
 20 23 17 27.2134
 21 23 21 23.7709
 22 23 25 20.3286
 23 23 29 16.8858
 24 23 33 13.4417
 25 23 37 09.9959
 26 23 41 06.5481
 27 23 45 03.0981
 28 23 48 59.6465
 29 23 52 56.1938
 30 23 56 52.7410
 31 0 00 49.2890

Wrzesień

1 0 04 45.8389
 2 0 08 42.3915
 3 0 12 38.9470
 4 0 16 35.5050
 5 0 20 32.0648
 6 0 24 28.6245
 7 0 28 25.1826
 8 0 32 21.7376
 9 0 36 18.2889
 10 0 40 14.8371
 11 0 44 11.3835
 12 0 48 07.9300
 13 0 52 04.4781
 14 0 56 01.0284
 15 0 59 57.5810
 16 1 03 54.1357
 17 1 07 50.6917
 18 1 11 47.2482
 19 1 15 43.8044
 20 1 19 40.3596
 21 1 23 36.9132
 22 1 27 33.4648
 23 1 31 30.0144
 24 1 35 26.5621
 25 1 39 23.1087
 26 1 43 19.6549
 27 1 47 16.2018
 28 1 51 12.7505
 29 1 55 09.3019
 30 1 59 05.8561

Październik

1 2 03 02.4131
 2 2 06 58.9719
 3 2 10 55.5311
 4 2 14 52.0892
 5 2 18 48.6448
 6 2 22 45.1971
 7 2 26 41.7462
 8 2 30 38.2933
 9 2 34 34.8397
 10 2 38 31.3872
 11 2 42 27.9369
 12 2 46 24.4893
 13 2 50 21.0440
 14 2 54 17.6005
 15 2 58 14.1579
 16 3 02 10.7153
 17 3 06 07.2718
 18 3 10 03.8270
 19 3 14 00.3803
 20 3 17 56.9317
 21 3 21 53.4812
 22 3 25 50.0293
 23 3 29 46.5768
 24 3 33 43.1248
 25 3 37 39.6744
 26 3 41 36.2266
 27 3 45 32.7819
 28 3 49 29.3403
 29 3 53 25.9008
 30 3 57 22.4621
 31 4 01 19.0225

Listopad

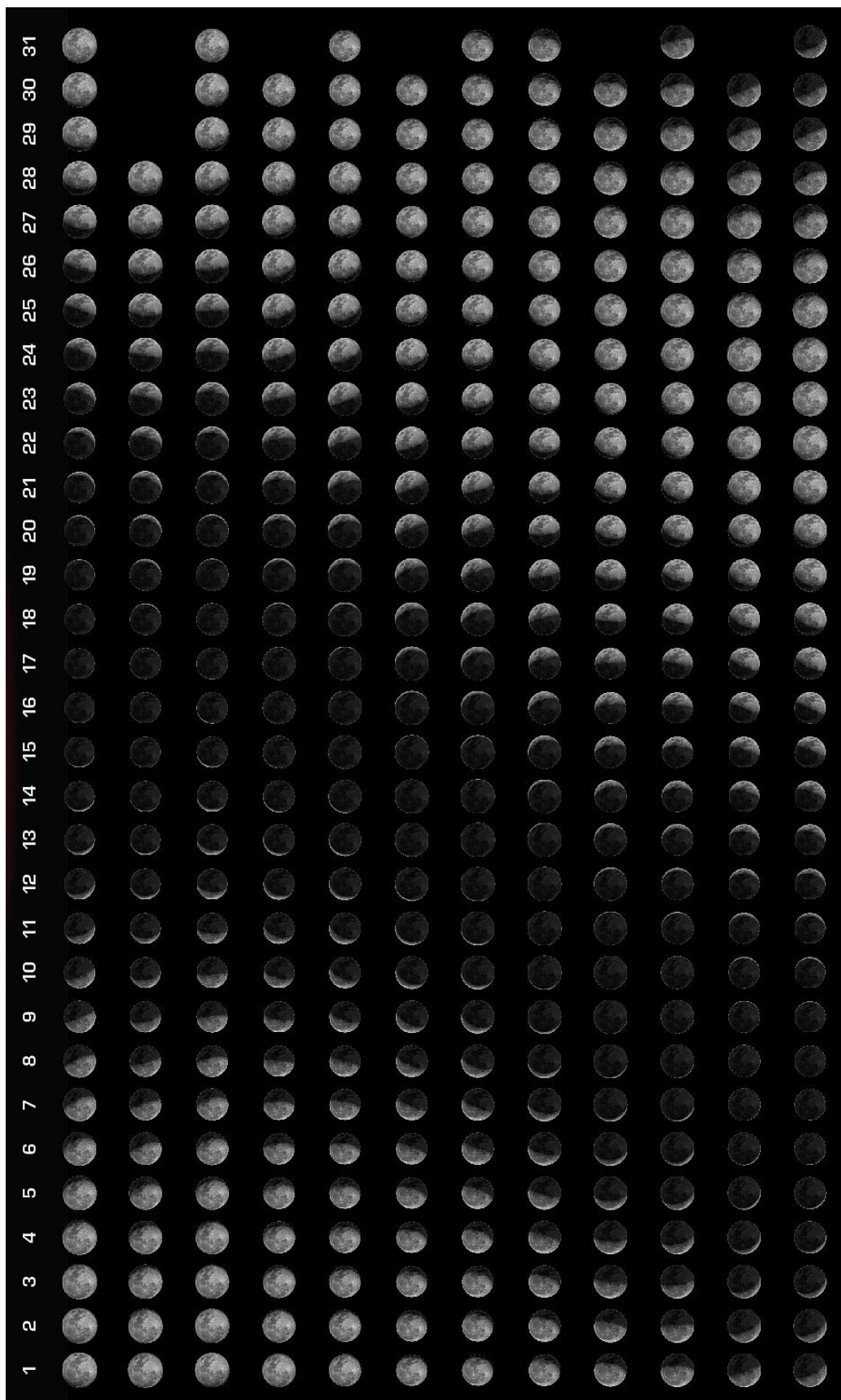
1 4 05 15.5806
 2 4 09 12.1356
 3 4 13 08.6875
 4 4 17 05.2372
 5 4 21 01.7859
 6 4 24 58.3351
 7 4 28 54.8861
 8 4 32 51.4397
 9 4 36 47.9960
 10 4 40 44.5545
 11 4 44 41.1143
 12 4 48 37.6745
 13 4 52 34.2341
 14 4 56 30.7924
 15 5 00 27.3491
 16 5 04 23.9037
 17 5 08 20.4565
 18 5 12 17.0077
 19 5 16 13.5580
 20 5 20 10.1084
 21 5 24 06.6599
 22 5 28 03.2137
 23 5 31 59.7707
 24 5 35 56.3310
 25 5 39 52.8942
 26 5 43 49.4586
 27 5 47 46.0226
 28 5 51 42.5843
 29 5 55 39.1429
 30 5 59 35.6981

Grudzień

1 6 03 32.2508
 2 6 07 28.8021
 3 6 11 25.3535
 4 6 15 21.9063
 5 6 19 18.4615
 6 6 23 15.0192
 7 6 27 11.5793
 8 6 31 08.1409
 9 6 35 04.7033
 10 6 39 01.2655
 11 6 42 57.8265
 12 6 46 54.3859
 13 6 50 50.9432
 14 6 54 47.4986
 15 6 58 44.0521
 16 7 02 40.6045
 17 7 06 37.1564
 18 7 10 33.7090
 19 7 14 30.2632
 20 7 18 26.8202
 21 7 22 23.3806
 22 7 26 19.9443
 23 7 30 16.5101
 24 7 34 13.0762
 25 7 38 09.6406
 26 7 42 06.2017
 27 7 46 02.7590
 28 7 49 59.3130
 29 7 53 55.8652
 30 7 57 52.4171

Część druga

(dydaktyczno–informacyjna)



Sty Lut Mar Kwi Maj Cze Lip Sie Wrz Paź Lis Gru

Fazy Księżyca w 2018 roku. (Źródło: Evans & Sutherland C.C.)

Kronika Astronomii Novej za rok 2017

Bogdan Wszolek^{1,2,3}

¹Instytut Fizyki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

²Stowarzyszenie Astronomia Nova

³Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim

Doktorat z astronomii dla członkini AN



Mariia H. Tkachenko odbiera gratulacje prezesa AN w OAKJ w Rzepienniku Biskupim.

W czerwcu 2017, w Nacjonalnym Uniwersytecie w Odessie, Mariia Hennadiiwna Tkachenko obroniła pracę doktorską p.t. *Expert software package for statistically optimal determination of the parameters of binary systems*. Naukowym opiekunem pracy był Ivan L. Andronov, przewodniczący koła AN w Odessie.

Planetarium w Częstochowie

Upłynęło dziesięć lat od uruchomienia planetarium w Instytucie Fizyki częstochowskiej AJD. Warto z racji tego małego jubileuszu odwiedzić jego stronę www.planetarium.ajd.czyst.pl. Pod aktualnym kierownictwem Agnieszki Dymarek odbywają się tu regularne seanse dla publiczności, a także tradycyjne środowowe spotkania miłośników astronomii, pośród których wielu należy do AN. Wielką popularnością cieszą się m.in. wykłady Waldemara Zwierchlejskiego z serii *Astroexpress* (<http://www.sactn.ajd.czyst.pl/astroexpress.php>). Tylko w ramach zorganizowanych grup, z usług planetarium skorzystało w 2017 roku około 5000 osób.

Planetarium w Łodzi

Już ponad dwa lata działa Planetarium EC1 w Łodzi, zorganizowane i koordynowane przez Tomasza Kisiela – kierownika Działu Planetarium EC1 oraz astronoma zrzeszonego w AN. Jako najnowocześniejsze w Europie Środkowej i pod każdym względem profesjonalnie zorganizowane, ściągają liczne grupy z całej Polski, a często też zza granicy. Jego dydaktyczna rola dla popularyzacji wiedzy o Wszechświecie jest tym większa, że zasięgiem bezpośredniego oddziaływania obejmuje nie tylko mieszkańców samej Łodzi, ale też miliony mieszkańców w promieniu do 200 km. W pierwszym roku działalności (2016), planetarium EC1 odwiedziło 150 tysięcy widzów, a w roku 2017 - 120 tysięcy. Sukces ten można w dużej części przypisać ilości pokazów prowadzonych w całości na żywo przez prezenterów. Tygodniowo w planetarium odbywa się mniej więcej 40 pokazów, z czego połowa dla grup szkolnych. W planetarium zatrudnionych jest 16 osób, z czego 11 jest odpowiedzialnych za prowadzenie pokazów. Grupy zorganizowane mogą wybierać w sumie z 12 tytułów. Marzy się, żeby dobre wzorce w zakresie organizacji planetariów doszły wreszcie z pomyślnymi wiatrami do Krakowa, Rzeszowa, Lublina. Więcej o EC1 w artykule na stronie 109 tego kalendarza oraz na stronie: www.PlanetariumEC1.pl

Astronomia w „Rzepienniku wczoraj i dziś”

Członkini Stowarzyszenia Astronomia Nova, Agnieszka Kuźmich, od trzech lat pisze artykuły popularno-naukowe do gazety „Rzepiennik wczoraj i dziś”. Są to krótkie teksty, które w przystępny sposób opisują różnego typu zjawiska i obiekty astronomiczne. Mają one na celu zwiększenie wiedzy astronomicznej lokalnej ludności, która z uwagi na umiejscowienie Obserwatorium Królowej Jadwigi na terenie gminy, szczególnie interesuje się tą tematyką.

W gościach u Królowej Jadwigi

W roku 2017 OAKJ w Rzepienniku Biskupim odwiedziło kilka tysięcy osób: zorganizowane grupy młodzieży, pojedynczy astronomowie i miłośnicy astro-

nomii, turyści i ludność miejscowa. Większość miała okazję wysłuchać prelekcji astronomicznych i astronautycznych, dokonać pierwszych obserwacji teleskopowych oraz zwiedzić z przewodnikiem (astronem) obserwatorium. Innym wystarczył samodzielny spacer po terenie obserwatorium. Robili sobie zdjęcia na tle anten i kopuł oraz wczytywali się w plansze dydaktyczne zainstalowane na wolnym powietrzu.



Młodzież z *Wirtualnej Akademii Astronomii* w Opolu, prowadzona przez dr Katarzynę Książek, podczas zwiedzania marsjanum w OAKJ.

Yuris Night w OAKJ

Wieczorem 12 kwietnia zorganizowano w OAKJ w Rzepienniku Biskupim skromną imprezę dla upamiętnienia pierwszego lotu człowieka w kosmos. Po prelekcji, przypominającej pamiętny lot Gagarina, wyświetlono kilka filmów o treściach astronautycznych i wymieniono pozdrowienia z Agatą Kołodziejczyk, przebywającą wtedy w Europejskiej Agencji Kosmicznej w Nordwijk (Holandia). W gronie kilkorga członków AN snuto plany dotyczące organizacji laboratorium kosmicznego w OAKJ.

Walne zebranie AN

Dnia 24 czerwca w OAKJ odbyło się walne zebranie AN. Podsumowano działalność za rok 2016 i planowano działania na przyszłość. Liczba osób należących do AN z każdym rokiem rośnie i aktualnie wynosi 91, z czego czworo jest członkami honorowymi. Działają Koła AN w Odessie i w Wieruszowie. Zdaniem Prezesa, podobne Koła należało by pilnie stworzyć w Opolu, Krakowie i Częstochowie. Siedzibę główną AN planuje się przenieść z Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie do OAKJ, z którym więzi AN z roku na rok coraz bardziej się zacieśniają. Prezes wyraził podziękowania m.in.: recenzentom i autorom przyczynków do CKA, Agacie Kołodziejczyk za dzia-

łania na rzecz organizacji laboratorium kosmicznego przy OAKJ oraz przy organizacji astronaucznych misji analogowych, Agnieszce Kuźmich za obsługę grantu MNSW/DUN dla AN, Kazimierzowi Błaszczakowi za działania organizacyjne dla utworzenia Centrum Edukacji Astronomiczno Astronautycznej w Cieszęcinie, Magdalenie Wszółek za prowadzenie księgowości AN, Charles'owi Hofferber'owi za ufundowanie poczęstunku podczas zebrania i w czasie towarzyszącej mu sesji naukowej.

Sesja naukowa

24 czerwca, przy okazji Walnego Zebrania AN, w OAKJ odbyła się sesja naukowa, podczas której wygłoszono referaty: Marian Soida – *Synteza miary rotacji*, Agnieszka Pollo – *O jasnych galaktykach w ciemnym Wszechświecie*, Grzegorz Michałek – *Oscylacje prędkości koronalnych wyrzutów materii ze Słońca*, Włodzimierz Godłowski – *Uporządkowanie orientacji galaktyk w gromadach w zależności od typów morfologicznych*, Piotr Homola – *Cosmic Ray Showers: a new Window to the Universe*, Johanna Jarvis – *Engaging the Public and Schools with Astronomy* i Agata Kołodziejczyk – *Co w kosmosie piszczy*.



Czynni uczestnicy sesji: Włodzimierz Godłowski, Agnieszka Pollo, Grzegorz Michałek, Piotr Homola, Bogdan Wszółek, Johanna Jarvis, Agata Kołodziejczyk i Marian Soida.

Wykładom podczas sesji przysłuchiwali się nie tylko członkowie AN przybyli na walne zebranie, ale także zainteresowane osoby postronne.

Metlerowcy w OAKJ

Corocznym zwyczajem, swoje ostatnie spotkanie przed wakacjami częstochowscy Metlerowcy spędzili w plenerze i przy ognisku. Tym razem przyjechali do Rzepiennika, by wysłuchać wykładów podczas sesji naukowej zorganizowanej w OAKJ oraz współuczestniczyć w atrakcjach świętojańskich. Była okazja spotkać się tu z krakowskimi astronomami i lokalnymi miłośnikami

astronomii. W tę noc nikt oka nie zmrzył. A to śpiewy biesiadne, a to obserwacje nieba bardziej południowego niż w Częstochowie, a to poszukiwania *kwiatu paproci*! Ogarnawszy się po trosze, wszyscy zdążyli na sumę odpustową w zabytkowym rzepiennickim kościółku św. Jana Chrzciciela.



Metlerowcy przy marsjanum.



Ryś Staniewski zawiesza na dębie w OAKJ wianek świętojański upleciony przez Wandę i Karolinę Kusiak z Rzepiennika Suchego.

U Burmistrza Wieruszowa

Dnia 28 czerwca w Wieruszowie doszło do przekazania radioteleskopu RT-13 w Cieszęcinie na rzecz AN. Podpisano odpowiednie umowy darowizn i użyczeń pomiędzy Burmistrzem Wieruszowa i Prezesem AN. Również osoby

fizyczne, które miały swój udział w dotychczasowej budowie RT-13, przekazały je oficjalnie na rzecz AN, która bierze na siebie odpowiedzialność za dalszy los instrumentu i której przyświeca idea utworzenia w Cieszęcinie Centrum Edukacji Astronomiczno Astronautycznej.



Od lewej: Bogdan Wszolek, Rafał Przybył (burmistrz), Kacyna Danuta z synami Robertem i Sebastianem oraz Kazimierz Błaszczak.

Gwiazdny domek przy OAKJ

Z myślą o gościach obserwatorium, staraniem Agnieszki i Artura Kuźmichów zrzeszonych w AN, oddano do użytku „Gwiazdny Domek”, w którym może zamieszkać jednocześnie kilka osób. Goście korzystający z domku podczas imprez organizowanych w OAKJ wyrażali o nim bardzo pochlebne opinie.

G W I E Z D N Y
D O M E K 

www.gwiazdnydomek.pl



M.A.R.S. bis

Po pierwszych doświadczeniach organizacji i funkcjonowania przy OAKJ w Rzepienniku Biskupim bazy badawczej o nazwie M.A.R.S., zdobytych w 2016 roku, a po części opisanych w CKA2017, trzeba było zmienić pierwotną koncepcję projektu. Powzięto decyzję o separacji działań z udziałem analogowych astronautów od działań stricte laboratoryjnych z udziałem profe-

sjonalnych badaczy. Bazę mobilną, dedykowaną analogowym misjom astronautycznym, przeniesiono w lipcu 2017 na lotnisko w Pile, gdzie od sierpnia do października przeprowadzono w sumie cztery 2-tygodniowe misje analogowe dla dorosłych oraz krótką misję młodzieżową. Projekt dalszej organizacji laboratorium kosmicznego przy OAKJ jest jeszcze w fazie przemyśleń właścicieli obserwatorium oraz innych zainteresowanych członków AN.

Lokalizację bazy na lotnisku w Pile zorganizował Mateusz Harasymczuk – fascynata astronautyczny zrzeszony w AN. Wynajęto stary hangar wraz z przyległym terenem. Do hangaru nawieziono rumoszu skalnego dla utworzenia analogu powierzchni Marsa i Księżyca. Laboratoryjne wyposażenie wewnątrz koordynowała Agata Kołodziejczyk. Przestrzeń doświadczalną i socjalną zorganizowano w sześciu kontenerach i pod kopułą – przywiezionych z OAKJ w Rzepienniku Biskupim. Koszty przeprowadzki i ponownej budowy habitatu wziął na siebie Marcin Traple, który osobiście wykonał wiele prac i kierował budową. Agata Kołodziejczyk sporą część swoich zarobków w ESA przeznaczyła na wyposażenie habitatu i na konieczne częste podróże z Holandii do Piły.



Demontaż bazy marsjańskiej w OAKJ w celu przewiezienia jej do Piły.



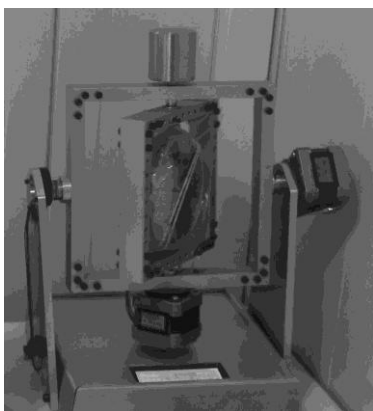
Baza marsjańska zbudowana na lotnisku w Pile.

Otwarcie pierwszej w Polsce bazy kosmicznej

Dnia 29 lipca na lotnisku w Pile odbyło się uroczyste otwarcie habitatu *Lunares* - złożonego z 7 modułów mieszkalnych, o łącznej powierzchni 108 m², oraz z terenu do odbywania spacerów kosmicznych o powierzchni 300 m². *Lunares* zostało zbudowane i wyposażone głównie przez Agatę Kołodziejczyk i Marcina Traple. Służy do przeprowadzania symulacji misji księżycowych i marsjańskich. Jest to jedyne w swoim rodzaju miejsce na świecie zapewniające pełną kontrolę i monitoring warunków środowiskowych, izolację od światła naturalnego i czasu ziemskiego. Dzięki temu, powstały habitat to również unikalne w skali świata laboratorium do badań nad zegarami biologicznymi. Baza jest mobilna i w pełni zautomatyzowana. Istnieje możliwość sterowania światłem, temperaturą i komunikacją z dowolnego miejsca na ziemi.



Agata Kołodziejczyk i Marcin Traple.



Przykładowe elementy wyposażenia habitatu: (od lewej) symulator mikrogravitacji dla wzrostu roślin, drukarka 3D, mikroskop.

Pierwsza symulacja misji marsjańskiej w Polsce



Misja PMAS w Pile. (z archiwum PMAS)

W dniach 31 lipca – 13 sierpnia w habitacie *Lunares* w Pile przeprowadzono międzynarodową symulację misji marsjańskiej PMAS (Poland Mars Analog Simulation). Misję zorganizowały Space Generation Advisory Council i ABM Space. Wolontariusze z sześciu kontynentów wzięli udział w organizacji i kontroli misji. Analogowi astronauta spędzili dwa tygodnie w izolacji. Była to premierowa misja w nowo otwartej bazie. Wyniki badań przeprowadzonych podczas misji były już prezentowane na międzynarodowych konferencjach astronautycznych, między innymi podczas International Astronautical Congress 2017 w Adelajdzie. Astronomia Nova patronowała przedsięwzięciu.

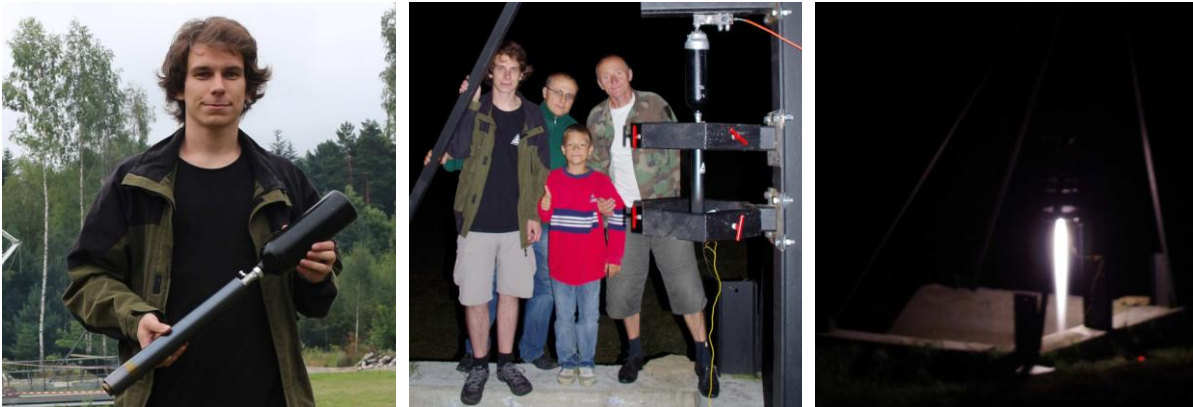
Perseidy czy rakiety



Warsztaty raketowe dla najmłodszych w OAKJ.

12 sierpnia przez obserwatorium w Rzepienniku przewinęło się setki osób. AN wraz z Polskim Towarzystwem Raketowym (PTR) zorganizowały tam warsztaty raketowe, testowanie silnika raketowego oraz obserwacje Perseidów. Pogoda przeszkodziła w obserwacjach i fotografowaniu meteorów, ale wystrzałowe atrakcje zaoferowane przez raketowców wynagrodziły przybyłym poniesione trudy. Dzieci konstruowały swoje małe rakiety i następnie oglądały z zachwytem i satysfakcją jak szybują one ku niebu, a następnie opadają majestatycznie na spadochronach. Dla amatorów mocniejszych wrażeń wystrzelono dwie większe rakiety, przywiezione przez konstruktorów z PTR. Na koniec, już nocną porą i w towarzystwie samych najwytrwalszych amatorów raketowych wrażeń, przetestowano jeden z silników raketowych wyko-

nanych przez PTR. Test wykonano na hamowni w OAKJ, będącej pierwszym stanowiskiem eksperymentalnym w ramach organizowanego tam laboratorium kosmicznego.



Od lewej: Kacper Zieliński z hybrydowym silnikiem raketowym; na hamowni przed testem - Kacper Zieliński, Paweł Kołodziejczyk z synem Jankiem i Bogdan Wszolek; silnik po odpaleniu.

Amerykańskie zaćmienie

21 sierpnia w Ameryce miało miejsce całkowite zaćmienie Słońca. AN była reprezentowana na zaćmieniu przez Kazimierza Błaszczaka oraz niezależnie przez Tomasza Kisiela. Obaj mieli szczęście do pogody i dobrze udokumentowali zjawisko. Virginia Trimble, honorowa członkini AN, choć była podczas zaćmienia w Kalifornii, to stan zdrowia nie pozwolił jej oglądać unikalnego niebieskiego widowiska. Prezes AN dedykował to zaćmienie właśnie Virginii, astronomicznej gospodyni miejsca występowania zjawiska. Bliższe szczegóły z obserwacji zaćmienia zawierają artykuły na str. 99 i 103 niniejszego kalendarza.

Misja księżycowa Lunar Expedition



Misja Lunar Expedition w Pile. (archiwa Lunar Expedition)

W dniach 15-29 sierpnia odbyła się w Pile misja księżycowa *Lunar Expedition*, koordynowana przez Agatę Kołodziejczyk z AN. Była ona dopełnieniem dwuletniego projektu z udziałem środowisk akademickich (m. in. Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, Uniwersytet Warszawski, Politechnika Warszawska). Testowa misja *Lunar Expedition* odbyła się rok temu w OAKJ w Rzepienni-

ku Biskupim. W tegorocznej misji większość eksperymentów naukowych rozbudowano i powtórzono. Misja zakończyła się sukcesem, a dwoje analogowych astronautów po wakacjach dostało pracę w Europejskiej Agencji Kosmicznej. Pozostali biorą aktywny udział w upowszechnianiu wiedzy o załogowych lotach kosmicznych.

Wizyta w Odessie



Śladami Gamowa w odesskim Uniwersytecie.
Od lewej: Bogdan i Magdalena Wszółkowie i Ivan Leonidowicz Andronow.

Na zaproszenie Ivana L. Andronova, przewodniczącego odesskiego koła AN, w dniach 23-28 sierpnia prezes Bogdan Wszółek odwiedził Odessę i bliżej zapoznał się z działaniami jak i potencjalnymi możliwościami poszerzenia działań tamtejszych astronomów, będących członkami AN. Zwiedził w Odessie miejsca aktywne astronomicznie. Pod wieloma względami warunki, w jakich przychodzi pracować tamtejszym astronomom, bardzo niepokoją. Prezes bardzo wysoko ocenił zaangażowanie przewodniczącego koła oraz osób z nim współpracujących. Znalazł też możliwości częściowej poprawy warunków działania poprzez wykonanie drobnych prac społecznych przez samych astronomów i/lub ich uczniów. W razie potrzeby, zaoferował też pomoc ze strony polskich członków AN.



Wschód Słońca na Morzu Czarnym w Odessie. Przez to morze przed laty wybrał się małą łódką George Gamow ze swoją żoną, łudząc się nadzieją, że dowiosłuje do Turcji i znajdzie tam upragnioną wolność. Cudem uszedł z życiem, a amerykańskiej wolności i tak po latach miał okazję zasmakować.

Wieża w OAKJ

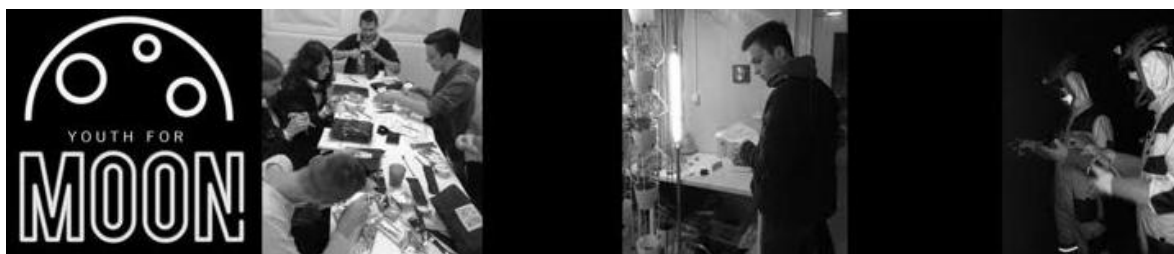
W sierpniu sfinalizowano budowę wieży pod wojskową antenę RFT-5.4 przywiezioną do OAKJ z Komorowa. W dniu 1 września sama antena została umieszczona na szczycie wieży. Sytuacja zastana w roku 2014 w dawnym Satelitarnym Centrum Operacji Regionalnych (SCOR) została tym samym odtworzona w Rzepienniku. Nawet z przewagą, bo teraz z wieży można oglądać Tatry. Pozostało jeszcze odtworzyć stan z roku 2010, kiedy antena służyła obronności Polski w ramach NATO. Więcej szczegółów w artykule na stronie 153 tego kalendarza.



RFT-5.4 ponad wierzchołkami drzew. W tle po lewej Maślana Góra nad Grybowem.

Pierwsza w Europie edukacyjna misja księżycowa

W dniach 11-13 września, staraniem nauczycieli Gimnazjum w Lęborku i Liceum Ogólnokształcącego w Gdyni, oraz zespołu Mediolia i Spółki Space Garden, udało się zorganizować symulację misji księżycowej dla 22 uczniów klas gimnazjalnych i licealnych. Program zajęć został opracowany przez Agatę Kołodziejczyk i Mateusza Harasymczuka, zrzeszonych w AN. Zajęcia spotkały się z ogromnym entuzjazmem zarówno uczniów jak i nauczycieli.



Młodzieżowa misja księżycowa. (archiwa Youth for Moon)

Zjazd PTA

W dniach 12-15 września w Centrum Nauki Keplera im. Janusza Gila w Zielonej Górze odbył się XXXVIII zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego (PTA). Brało w nim udział około stu astronomów polskich, w tym kil-

kunastu członków AN. Podczas otwarcia zjazdu zostały wręczone medale Bohdana Paczyńskiego i im. Włodzimierza Zonna. Pierwszym uhonorowano Aleksandra Wolszczana, a drugim Bogdana Wszółka. Podczas zjazdu wygłoszono kilkadziesiąt wspaniałych wykładów i przedstawiono dziesiątki pięknych plakatów. Przeprowadzono też wybory nowych władz Towarzystwa. Agnieszkę Kryszczyńską, piastującą dotąd funkcję prezesa, wyrećzył Marek Sarna. Maciej Mikołajewski, jedyny członek AN w Zarządzie PTA, zachował dotychczasową wiceprezesurę.



Medal im. Włodzimierza Zonna.



Od lewej: Bogdan Wszółek, Johannes Kepler i Aleksander Wolszczan.



Mozaika gagarinowska na budynku uniwersyteckim w Zielonej Górze.

W Zielonej Górze pielęgnuje się, jak nigdzie indziej w Polsce, pamięć o Johannesie Keplerze. W pobliskim Żaganiu Kepler spędził pracowicie ostatnie lata życia. W Uniwersytecie Zielonogórskim, dzięki staraniom Janusza Gila, stworzono Instytut astronomii im. Keplera (dziś im. Janusza Gila), w którym zatrudniono wielu astronomów i uruchomiono studia astronomii. Również dzięki staraniom profesora Gila utworzono w Zielonej Górze Centrum Nauki Keplera, a w ramach niego wspaniałe nowoczesne planetarium. Ujmuje za serce i to, że w Zielonej Górze, na jednym z naczelných miejsc uniwersytetu, widnieje mozaika upamiętniająca pierwszego człowieka w kosmosie – Jurija Gagarina. Jakoś to nikomu tam nie przeszkadza!

Sesja dydaktyczna w Przysietnicy

W ośrodku turystycznym *Czardworek* w podbieszczadzkiej Przysietnicy odbyły się w dniach 19-20 września warsztaty astronomiczno lotnicze dla młodzieży z Polski i Ukrainy, zorganizowane przez Wirtualną Akademię Astronomii z Opola. Warsztaty były wspierane merytorycznie przez AN. Włodzimierz Godłowski i Bogdan Wszolek wygłosili tam po dwa wykłady z astronomii.

Konferencja Młodych

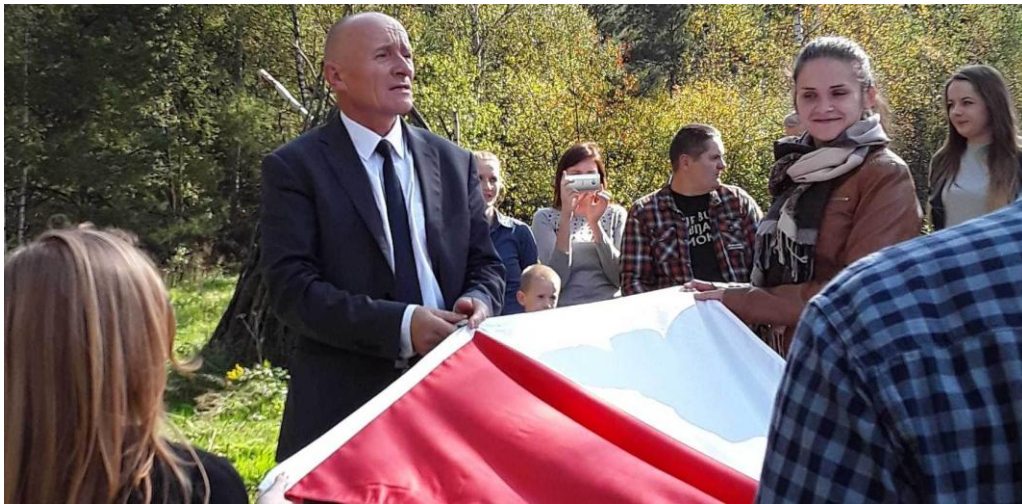
W dniach 29-30 września w OAKJ w Rzepienniku odbyła się IX Międzynarodowa Konferencja Naukowa Młodych z serii *Astrophisica Nova*. Uczestniczyli w niej młodzi i bardziej doświadczeni wykładowcy polscy i ukraińscy. Konferowano o gwiazdach zmiennych, o rozproszonej materii międzygwiazdowej i międzygalaktycznej, o olbrzymich radioźródłach i aktywnych jądrach galaktyk, o gromadach galaktyk i mierzeniu polaryzacji promieniowania radiowego, o uwarunkowaniach egzystencji człowieka w kosmosie. W ramach imprez towarzyszących wyświetlano filmy o eksploracji kosmosu, organizo-

wano wycieczki do Biecza i po Łemkowszczyźnie, wciągnięto uroczyście flagę białą czerwoną na maszt nowopowstałej w OAKJ wieży. Choć konferencję dofinansowało MNSW (kwotą 4000 zł.), to sporo kosztów pokryli prywatnie właściciele OAKJ.

Po tym jak władze Wydziału Matematyczno Przyrodniczego częstochowskiej AJD nie dofinansowały VIII konferencji z serii *Astrophisica Nova*, prezes AN zdecydował, że dalsze konferencje będą organizowane w OAKJ w Rzepienniku Biskupim.



Czynni uczestnicy IX Konferencji Naukowej Młodych *Astrophisica Nova*.



Ceremonia przed zawieszeniem flagi narodowej na nowej wieży w OAKJ.

Z wizytą w ESA

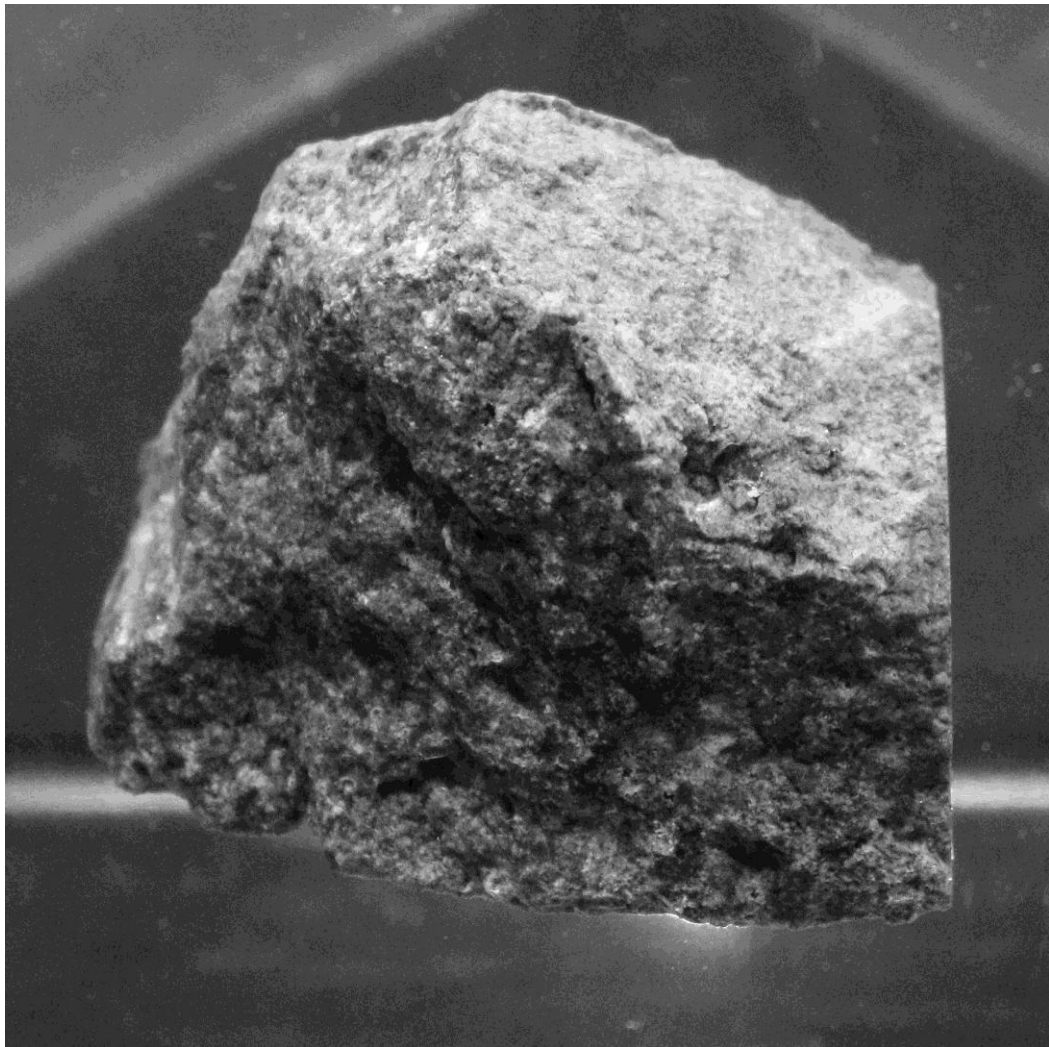
W dniach 17-21 października Magdalena i Bogdan Wszółkowie odwiedzili pracujących w European Space Research and Technology Centre (ESTEC) w Holandii innych dwoje członków AN: Agatę Kołodziejczyk i Mateusza Harasymczuka. Goście zapoznali się szczegółowo ze strukturą organizacyjną i profilem działalności naukowej i administracyjnej tego, należącego do ESA, kosmicznie strategicznego ośrodka. Na przedłużeniu wykładów o różnych aspektach dotyczących eksploracji kosmosu dyskutowano tam m.in. możliwości włączenia się AN w polskie i europejskie działania na tym polu. Dyskutowano w tym kontekście również sprawę laboratorium kosmicznego przy OAKJ w Rzepienniku oraz analogowego habitatu w Pile. Uzupełnieniem roboczej wizyty w ESTEC było zwiedzanie pobliskiego muzeum kosmosu. Wiele można było tam podpatrzeć przydatnego dla organizacji ewentualnych podobnych miejsc w Polsce, służących edukacji kosmicznej społeczeństwa.



Pod polską flagą w ESA.



Agata Kołodziejczyk w roli przewodnika po muzeum kosmosu.



W muzeum kosmosu – kamień przywieziony z Księżyca w ramach misji Apollo 17.

Zakończenie kosmicznego sezonu w Piłi

22 października upłynął ostatni w sezonie 2017 2-tygodniowy okres izolacji w habitacie sześciu analogowych astronautów. Ciekawostką tej misji było to, że jednym z astronautów był niewidomy inwalida. Dla Agaty Kołodziejczyk zakończenie sezonu oznaczało również koniec ciągu najrozmaitszych trudów, jakie musiała, często samotnie, pokonywać przy budowie habitatu i kompletowaniu jego wyposażenia oraz przy organizacji misji. Działała przeważnie zdalnie, z Holandii. Ileż razy musiała jednak brać urlop i lecieć do Piły, żeby coś tam fachowo zabezpieczyć. Ze swoich prywatnych środków wyposażała też laboratoria w habitacie. Nadludzkim wysiłkiem pozyskane doświadczenie zaowocuje, miejmy nadzieję, jeszcze większymi działaniami na rzecz edukacji kosmicznej społeczeństwa oraz dla wzrostu udziału polskich inżynierów i naukowców w kosmicznej przygodzie ludzkości. Obecny na zakończeniu prezes AN wyraził najwyższy szacunek dla działań Agaty Kołodziejczyk. Podziękował również Marcinowi Traple, który wziął na siebie finansowanie i organizację budowy habitatu w Piłi oraz gospodarskie czuwanie nad zabezpieczeniem misji. Wyraził też wdzięczność Mateuszowi Harasymczukowi, który na wiele sposobów okazał się pomocnym przy organizacji misji analogowych.



Ostatnia grupa astronautów w sezonie 2017 po zakończonej misji (Piła, 22 października).

Ars Astronomica

W dniach 13 i 15 listopada odbyły się rozdania dyplomów i nagród przyznanych autorom najlepszych prac w VII Międzynarodowym Konkursie Artystycznym *Ars Astronomica*, organizowanym przez AN. W konkursie wzięło udział około tysiąca osób. W różnych kategoriach wiekowych i dla różnych

rodzajów utworów, nagrodzono łącznie ponad 50 osób, których wykaz jest do wglądu na stronie: www.astronomianova.org. Nagrody zostały ufundowane przez Starostwo Częstochowskie (800 złotych) oraz przez AN. Dla ułatwienia, zorganizowano dwa rozdania: jedno w OAKJ w Rzepienniku Biskupim, a drugie w planetarium AJD w Częstochowie.



Finał VII konkursu *Ars Astronomica*. Rozdania w Rzepienniku i Częstochowie.

Sesja kosmiczna w OAKJ

Dnia 25 listopada w OAKJ miała miejsce mini konferencja kosmiczna. Waldemar Zwierzchlejski z AN i Jacek Kruk z Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, obaj wielcy znawcy i entuzjaści astronautyki, przyjechali ze sporym bagażem świeżych wieści astronautycznych. Dzielili się nimi z gospodarzami obserwatorium oraz z Agatą Kołodziejczyk, która właśnie zakończyła swój staż naukowy w ESA. Wykłady, zwiedzanie obserwatorium i dyskusje o możliwościach poprawy polskiego i światowego potencjału dla skuteczniejszej eksploracji kosmosu, wypełniły bez reszty czas weekendu. Powzięto między innymi decyzję o nadaniu większej rangi organizowanym corocznie w OAKJ obchodom światowego dnia astronautyki i wspomnieniom lotu Jurija Gagarina w kosmos.



Zawsze trudny problem lądowania na Księżycu. Tu chodzi o wybór miejsca na wpis.

Doświadczenie nieważkości

Dnia 5 grudnia Mateusz Harasymczuk, aktualnie jedyny przedstawiciel AN w ESA, brał udział w specjalnym lotniczym teście na zachowanie się organizmu ludzkiego w warunkach nieważkości. Samolot wzbijał się na bardzo dużą wysokość, z której następnie przez jakiś czas opadał swobodnie w dół. Szczegóły w artykule na stronie 125 tego kalendarza.



Mateusz Harasymczuk na pokładzie samolotu przed lotem eksperymentalnym.

Gwiazdkowo w Częstochowie i Cieszynie

W dniach 20 i 21 grudnia odbyły się przedświąteczne spotkania miłośników astronomii. W częstochowskim planetarium wyświetlono seans *Tajemnica Gwiazdy Betlejemskiej*, po czym, w gronie kilkudziesięciu osób, dzielono się opłatkiem i składano sobie życzenia. Spotkanie zaszczylił swoją obecnością najstarszy częstochowski miłośnik astronomii, Zdzisław Krachulec, który w 2017 ukończył dziewięćdziesiąt lat. Następnego dnia, w budynku szkolnym przy RT-13 w Cieszynie, odbyło się uroczyste spotkanie pod hasłem *Pierwsza Gwiazdka pod radioteleskopem*. Wystąpiły przedszkolaczki z Cieszyna i młodzież szkolna z Wieruszowa. Spotkanie pod radioteleskopem zorganizowali Kazimierz Błaszczak i Paweł Malik. W gronie gości był miejscowy proboszcz oraz miejscowi przedstawiciele władz oświatowych i administracyjnych.



20.12.17v 444

Temat: „Tajemnica Gwiazdy Betlejemskiej”
Spotkanie opłatkowe

Obecni:

1. Bogdan
2. Agnieszka Dymarek
3. KRACHUŁA Katarzyna
4. Paweł Górka
5. Andrzej Gradowski
6. Sławek Krawiec
7. Artur Lesman
8. Agnieszka Pała-Dziwora
9. Witold Machulski
10. Monika Sztuka
11. Jędrzej Tomasz
12. Matylda Sztuka
13. Edyta Kowalska
14. Adam Michał Trabelo
15. Tomasz Nowak
16. Marek Okrus
17. Grupa Ciepłych
18. Michał Szy
19. Marek Szy
20. Ryszard Staniawski

Spotkanie gwiazdkowe w planetarium AJD było już 444-tym, licząc od marca 2004, kiedy to Bogdan Wszolek utworzył Sekcję Astronomiczną i zapoczątkował regularne zebrania.



Pierwsza Gwiazdka pod radioteleskopem w Cieszęcinie. Występ przedszkolaków pod przewodnictwem Kazimierza Błaszczaka, młodzieżowa prezentacja o Gwieździe Betlejmskiej oraz pogadanka okolicznościowa prezesa AN – Bogdana Wszółka.

Highlights of Odessa Branch of AN in 2017

Ivan L. Andronov

Department “Mathematics, Physics and Astronomy”, Odessa National Maritime University

Scientific Research

Our group works on the variable star research within the international campaign “Inter-Longitude Astronomy” (ILA) based on temporarily working groups in collaboration with Poland, Slovakia, Korea, USA and other countries. A recent self-review on highlights was published in 2017 [1]. Our group continues the scientific school of Prof. Vladimir P. Tsesevich (1907 – 1983) [2, 3].

Another project we participate is “AstroInformatics” [4].

The unprecedented photo-polarimetric monitoring of a group of AM Her – type magnetic cataclysmic variable stars was carried out since 1989 (photometry in our group – since 1978) [5]. A photometric monitoring of the intermediate polars (MU Cam, V1343 Her, V2306 Cyg et al.) was continued to study rotational evolution of magnetic white dwarfs.

The super-low luminosity state was discovered in the outbursting intermediate polar = magnetic dwarf nova DO Dra [6,7]. Previously typical low state was some times interrupted by outbursts, which are narrower than usual dwarf nova outbursts. Once there were detected TPO – “Transient Periodic Oscillations” [8]. The orbital and quasi-periodic variability was recently studied [9]. Such super-low states are characteristic for nova-like variables (e.g. MV Lyr [10], TT Ari) or intermediate polars (e.g. [11]), but unusual for the dwarf novae.

M. G. Tkachenko has got a PhD, being the author of the thesis “Expert software package for statistically optimal determination of the parameters of binary systems”. The electronic “Catalogue of Characteristics and Atlas of the Light Curves of Newly-Discovered Eclipsing Binary Stars” was compiled and is being prepared for publication. The software NAV (“New Algol Variable”) with specially developed algorithms was used. It allows to determine the begin and end of the eclipses even in EB and EW – type stars, whereas the current classification (GCVS, VSX) claims that the begin and end of eclipses only in the EA – type objects [12]. The further improvements of the NAV algorithm were comparatively studied [13]. The “Wall-Supported Polynomial” (WSP) algorithms were implemented in the software MAVKA for statistically optimal modeling of flat eclipses and exoplanet transitions [14]. These results were included in the bachelor’s thesis by Kateryna D. Andrych. MAVKA was used for studies of effects of the mass transfer and presence of the third components in close binary stellar systems [15] and analysis of the poorly studied eclipsing binary 2MASS J20355082+5242136 [16].

Atlas of the Light Curves and Phase Plane Portraits of Selected Long-Period Variables was compiled [17, 18].

In 2017, the members of our group participated in conferences in the local Odessa National Maritime University (ONMU) and I. I. Mechnikov Odessa National University (ONU), as well in the international conferences in Ukraine, Poland, Slovakia, Armenia and a seminar in Czechia. The youngest members of our group – schoolchildren Kateryna O. Kozitskaya (supervisor Ivan L. Andronov) and Stanislav V. Savastru (supervisor Vladyslava I. Marsakova) – were awarded by special prizes (the monographs by V.P.Tsesevich) at the international conferences in ONU and ONMU, respectively.

Popularization of Astronomy

There are many directions for popularization carried out by the members of our group. These are occasional interviews for TV, press-releases and papers for the newspapers and journals. Currently there are three regular popular astronomical editions – an annual “Odessa Astronomical Calendar” (Odessa, since 2000), journals “Universe. Space. Time” (Kiev, in Russian) and a “re-loaded” “Our Sky” (Kiev, in Ukrainian). Ivan L. Andronov is in an Editorial board (and an author) for all three, whereas Lidia L. Chinarova, Larisa S. Kudashkina and Vladyslava I. Marsakova were the authors of a series of papers there. Ivan L. Andronov and Lidia L. Chinarova have written a series of short papers for the “Large Ukrainian Encyclopedia”. We also take part in lectures and events organized by the Odessa Astronomical Society, “Hub” and others.

Another format is “15×4” in the Odessa Regional Library, where the format is four short (~15 min) presentations on various topics. Afterwards, they are prepared as videos (see a presentation on gravitational waves by Kateryna D. Andrych [19]).

Education of Youth

For regular training of youth, there are “astronomical circles”, since 1999 supervised by Dr. Vladyslava I. Marsakova. The first one works on the territory of the astronomical observatory of the Odessa National University with a support from the Odessa Regional Humanitarian Center for After-School Education and Upbringing (ORHCASEU). A recent description of this circle was published in 2015 [20]. A second circle works in the famous Odessa Richelieu Lyceum, which is specialized in improved teaching, especially, in physics and mathematics. Both these circles work in a good collaboration, and teams for the Olympiads typically have participants from both. There was a third circle for young (9-12 years old schoolchildren) also previously supervised by Vladyslava I. Marsakova, but, from September 1, 2017, it is supervised by a PhD student Nataliia Ivanenko. For these circles, there are FaceBook groups “Odessa Astronomical Club for Children” and “excursion.teleskop.odessa”, respectively.

The schoolchildren from these circles, as well from other schools, have a series of annual conferences – contests and olympiads. Results of 2017 are described completely [21]. The main one is the “Small Academy of Sciences” (one may call “Youth...”), which has four levels of contest – scholar, district, regional, and Ukrainian. Currently there are subsections on “Astronomy and Astrophysics” and “Aerophysics and Space Research”. This year is special, as the author of this paper is supervising this astronomical section for 30 years. In 2017, the winners of the subsections were Kateryna Skorentseva and Maksimjeet Chowdhary (see photos below). Both speak Ukrainian, Russian, English and French, but the mother language of Maksimjeet is Hindi.

Next annual conference is “Peaceful Cosmos” organized by ORHCASEU on the base of the Faculty of Physics. There is no theoretical tour in physics, and much younger participants present their works in sections “Rocket Space Technique”, “Astronomy”, “Ecology and Cosmonautics”, “Human. Earth. Universe”, “History of Development of Aviation and Cosmonautics”, “Space Biology and Medicine” and “Programming and Computing Technique”.

A special conference (no competition) is on “Physics and Astronomy”. The best scientific projects (mostly from the “main” conference) are presented and the abstracts are published.



Enthusiasts for the variable star research (“Inter-Longitude Astronomy” campaign) from Odessa (PhD student Andrey Yu. Grygoriev, Dr. Vitalii V. Breus, student Kateryna D. Andrych, Dr. Mariia G. Tkachenko, Prof. Ivan L. Andronov, Dr. Lidiia L.Chinarova, Dr. Larysa S. Kudashkina, student Dmytro E. Tvardovskyi, schoolgirl Kateryna O. Kozytska, Dr. Vladyslava I. Marsakova and Dr. Sergei V. Kolesnikov). The majority of them attended some of the AN conferences.

As was mentioned above, the best projects may be recommended to the international Gamow conference (<http://gamow.odessa.ua>) – this year, by K. Kozytska, S. Savastru, D. Tvardovsky and K. Andrych (“ex-member of the circle”), so they are active members of the scientific group. Improved versions were presented on 11.10.2017 at the international conference in ONMU, which was dedicated to the memory of Prof. V. P. Tsesevich.

Three of these presentations were finalized in the papers in “Odessa Astronomical Publications” [16,15,14]. The works with K. Kozytska and K. Andrych were presented by a supervisor at the “Astrophysica Nova – 2017” conference. K. Andrych made her presentation at the same week in the Byurakan Astrophysical Observatory (Armenia).

S. Savastru, D. Tvardovsky and K. Andrych participated in the summer school “Variable” in the Vihorlat Observatory (Slovakia) under a supervision of Dr. Vladyslava I. Marsakova and hospitality of Dr. Igor Kudzej and Pavol Dubovsky. There was a nice company from Slovakia, Poland and Ukraine, which allowed to get new observations and to discuss many things.

The team from the Richelieu Lyceum has won the Ukrainian competition of «young physicists» last winter. Among five members, three are from the circle supervised by Dr. Vladyslava I. Marsakova.

Another branch of activity is on the astronomical Olympiads. Besides a regional Olympiad, in Odessa was arranged the Ukrainian Olympiad. Young astronomers got one “golden” and four “silver” Diploma and are shown at the photo below.



The winners of the Odessa regional contest of scientific projects of the members of the “Small (Youth) Academy of Sciences” – Kateryna Skorentseva (10-th class of the Odessa Gymnasium No.9) on the statistics of flashes from the satellite “Iridium” above Odessa) and Maksimjeet Chowdhary (9-th class of the Odessa Lyceum “Chornomorskyi”) on analysis of observations of the transit of Mercury on May 9, 2016.

Dmytro Tvardovskyi was included in the Ukrainian team for the International Astronomical Olympiad. Roman Soletskyi got a “golden” Diploma at the International Physical Olympiad. They both become students on the speciality “Physics and Astronomy” in the Odessa National University.



The Odessa youth team at the Ukrainian Astronomical Olympiad -2017: Stanislav Savastru, Kateryna Kozytska, Roman Soletskyi, Mariia Kovalenko, Dmytro Tvardovskyi. They all are the members of the astronomical circle supervised by Dr. Vladyslava I. Marsakova. R. Soletskyi got the “golden” Diploma, and others – the “silver” Diploma. They are from the famous Odessa Richelieu Lyceum, except K. Kozytska (Odessa Gymnasium No. 5).

References

1. Andronov I. L. et al., 2017, ASPC 511, 43
2. Vavilova et al., 2017, Proc. IAU 12, S325, 361 (2017IAUS..325..361V)
3. Andronov I. L., 2017, OAP 30, 252 (2017arXiv171208489A)
4. Andronov I. L., 2017, CKA2018, 177
5. Kolesnikov S. V., Andronov I. L., 2017, ASPC 510, 502
6. Breus V. V. et al., 2017, ATel 10477, 1
7. Andronov I. L., Mishevskiy N. N., Breus V. V., 2017, RNAAS 1, 20
8. Andronov I. L. et al., 2008, AA 486, 855
9. Han Kiyoungh et al., 2017, JASS 34, 37
10. Andronov I. L., Fuhrmann B., Wenzel W., 1988, AN 309, 39
11. Andronov I. L., Dubovsky P., Yoon Joh-Na, Kim Yonggi, 2014, ATel 5944, 1
12. Tkachenko M. G., Andronov I. L., Chinarova L. L., 2016, JPhSt 20, 4902
13. Andronov I. L., Tkachenko M. G., Chinarova L. L., 2017, Ap 60, 57
14. Andrych K. D., Andronov I. L., Chinarova L. L., 2017, OAP 30, 57
15. Tvardovskyi D. E., Marsakova V. I., Andronov I. L., 2017, OAP, 30, 135
16. Savastru S. V., Marsakova V. I., Andrych K. D., Dubovsky P., 2017, OAP 30, 126
17. Kudashkina L. S., Andronov I. L., 2017, OAP 30, 93
18. Kudashkina L. S., Andronov I. L., 2017, CKA2018, 283
19. Andrych K. D., 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=Erl-2VdwZ1w>
20. Andronov И. Л., 2015, “Небосвод” (“Roof of Heaven”) 8, 11
21. Андронов И. Л., 2017, “Одесский Астрономический Календарь – 2018” 206



Yuri Beletsky (astronomer from Odessa) sent this composite image from Chile, and he wrote: “A view from Atacama desert. On the night Dec 13-14 we were very lucky to witness an amazing celestial event! The ‘stars were falling from the sky’ and it was a remarkable sight. I took this image at Carnegie Las Campanas Observatory located in the south of Atacama desert in Chile. You can see numerous meteors as well as the Milky Way. One can easily recognize Orion constellation (although, for those who are in the Northern hemisphere it looks upside down). The telescopes on the foreground are the 6.5-m Magellans.

Relacja z całkowitego zaćmienia Słońca 2017

Kazimierz Błaszczak

Stowarzyszenie Astronomia Nova

Całkowite zaćmienie Słońca w USA w dniu 21 sierpnia 2017 było wyczekiwane od wielu lat. Unikalność tego zaćmienia polegała na tym, że zjawisko było widoczne, jako całkowite, tylko w jednym państwie - USA. Jako częściowe było ono widoczne jeszcze m.in. w Kanadzie, Meksyku i na wyspach karaibskich. Pas całkowitego zaćmienia, o szerokości 110 km, przebiegał przez środek terytorium USA. Zaczynał się na Pacyfiku i potem od stanu Oregon poprzez Idaho, Wyoming, Nebraska, Kansas, Iowa, Missouri, Kentucky, Tennessee, Georgia, Karolina Północna do Karoliny Południowej i kończył się na Atlantyku. Amerykanie nazwali to zaćmienie *Great American Eclipse*. Szacuje się, że zaćmienie obejrzało na żywo kilkadziesiąt milionów ludzi.



Przebieg pasa całkowitego zaćmienia (21.08.2017)

Wyprawę na zaćmienie do Południowej Karoliny planowałem z córką Małgorzatą i jej rodziną mieszkającą w USA. Zaćmienie miało być 21 sierpnia w poniedziałek o 14:40, z odpowiednim przesunięciem czasowym, dla poszczególnych miejscowości wzdłuż pasa zaćmienia. Do pokonania miałem odległość ponad 800 km w jedną stronę. Wytypowałem wcześniej dwa interesujące miejsca obserwacji: nad jeziorem Santee, 100 km od Charleston, oraz w Newberry koło Columbii. Prognozy pogody były korzystniejsze dla regionu Columbii. Ostatecznie wybraliśmy małą miejscowość Gilbert, niedaleko autostrady I-20 i w samym centrum całkowitego pasa zaćmienia. W tym miejscu czas fazy całkowitej wynosił 2 min i 36 sek. Dotarliśmy tam przed 13:00.

Po uzyskaniu zgody miejscowego burmistrza wybrałem miejsce do obserwacji niedaleko budynku hali sportowej. Mieliśmy do dyspozycji dwa teleskopy: reflektor MEADE ETX – 90 EC z montażem paralaktycznym i napędem elektrycznym oraz reflektor Orion StarBlast 4.5 z regulacją ręczną. Do obydwu teleskopów dorobiłem filtry ze specjalnej folii przywiezionej z Polski. Każdy miał też specjalne okulary, które były rozdawane bezpłatnie w bibliotekach i szkołach.



Wyczekiwanie fazy całkowitego zaćmienia.

Z wybranego miejsca obserwowaliśmy cały przebieg zaćmienia. Chciałem nagrywać filmik, robić zdjęcia a przede wszystkim pokazać jak najwięcej moim wnukom i rodzinie, żeby to zjawisko jak najlepiej przeżyli i zapamiętali na całe życie. Robienie zdjęć zleciłem mojej córce Małgorzacie, a sam nagrywałem filmik i obsługiwałem teleskop. Wszystkich uczestników zapraszałem po kolei do oglądania w obiektywie obrazów korony słonecznej. Zachwytom nie było końca.

Po raz pierwszy w życiu udało mi się zobaczyć na żywo całkowite zaćmienie Słońca. Przeżycie niesamowite, niepowtarzalne, nie do opowiedzenia! W Polsce nie mieliśmy w zasadzie nigdy takiego zaćmienia, ani w tym ani w poprzednim wieku.

Najbardziej mnie zaszokował *diamentowy pierścień*. Na chwilę zatkało mnie z wrażenia! W momencie, kiedy Księżyc całkowicie nachodził na Słoń-

ce, nastąpił kilkusekundowy błysk po jednej stronie i jednocześnie ukazała się korona słoneczna. No a przedtem jeszcze korale Baily'ego. Wrażenie nie do opisanego! To było bardzo dynamiczne widowisko, wydawało mi się, że rozgrywa się ono gdzieś całkiem blisko. Zrobiło się ciemno i na niebie pokazały się gwiazdy. Tu Wenus, tam Jowisz, tam zaś Spika, Arktur i Syriusz! Ludzie krzyczą w okóło z podziwu! Żadne zdjęcie, żaden filmik nie odda wrażenia jakiego doznałem.



Diamentowy pierścień.

Słyszałem wiele razy relacje osób, które oglądały całkowite zaćmienie Słońca. Trzeba jednak osobiście, na własne oczy zobaczyć, by się przekonać jak to naprawdę wygląda. Żadna relacja, żadne zdjęcia, żadna transmisja nie odda tego, co się przeżywa podczas osobistej obserwacji. Mówią, że każdy kto raz zobaczy całkowite zaćmienie Słońca, staje się innym człowiekiem!

Niebo było nieskazitelnie czyste. Zrobiliśmy dużo zdjęć i filmów. Było nas kilkanaście osób, a najbardziej były zachwycone dzieci.

Dla Amerykanów było to pierwsze takie zaćmienie od powstania Stanów Zjednoczonych w 1776 roku. Zaćmienie wzbudziło tam ogromne zainteresowanie. Przez kilka dni wszystkie media amerykańskie zajmowały się tylko tym tematem, omawiając na wszystkie sposoby wszelkie możliwe aspekty zjawiska.



Faza zaćmienia całkowitego.

(Fotografie z archiwum Małgorzaty Magathan, córki autora)

Wyprawa na całkowite zaćmienie Słońca 2017

Tomasz Kisiel¹, Joanna Saleta

¹Stowarzyszenie Astronomia Nova

Zaćmienia Słońca, choć występują w zasadzie co roku, to często są widoczne w trudno dostępnych rejonach świata. Dostyc rzadko zdarza się, że mogą być obserwowane z obszarów, w które łatwo i tanio można dostać się z Polski. W tym roku, a konkretniej 21 sierpnia 2017, miało miejsce to zjawisko, a pas całkowitego zaćmienia przecinał cały obszar Stanów Zjednoczonych. Była to zatem gratka dla miłośników chcących samodzielnie to zjawisko zaobserwować.

Obszar przebiegu zjawiska był całkiem łatwo dostępny i dość gęsto zaludniony. Już rok przed samym zjawiskiem większość hoteli miała komplet rezerwacji. Widząc ten stan rzeczy, nie miałem zbyt dużej nadziei na realizację planu powtórnego oglądania całkowitego zaćmienia Słońca, a to, które widziałem na Węgrzech w 1999 roku utrwaliło się bardzo mocno w mojej pamięci.

Niespodziewana okazja pojawiła się w trakcie festiwalu Fulldome Festival Brno 2017, który odbył się na początku czerwca. Dowiedziałem się wtedy, że grupa znajomych zorganizowała wolne pokoje oraz część pola namiotowego na prywatnym terenie położonym w górach stanu Idaho, a konkretniej w małej miejscowości Irwin położonej tuż nad brzegiem zalewu Palisades. Był to bardzo silny impuls do działania.

Podróż na taką odległość jest sprawą dosyc kosztowną, a największą przeszkodą w obserwacjach każdego całkowitego zaćmienia Słońca jest pogoda. Często zdarza się, podobnie jak to miało miejsce w 1999 roku, że pas całkowitego zaćmienia przechodzi przez miejsca, gdzie zachmurzenie jest duże i uniemożliwia śledzenie zjawiska. Dlatego najpierw należało sprawdzić czy ta wyprawa ma sens. Z pomocą przyszła strona internetowa National Oceanic and Atmospheric Administration, na której można znaleźć mapy statystyki opadów od roku 2001. Z nich można było dowiedzieć się, że jest to dosyc suchy rejon, a w sierpniu można spodziewać się raczej słonecznej i bezchmurnej pogody.



Ośnieżone szczyty górskiego pasma Teton.

Szykując się na obserwacje całkowitego zaćmienia Słońca należy wziąć pod uwagę to, czy takie zaćmienie już się kiedyś widziało. Jeśli nie, warto dać spokój ambitnym planom dokumentowania fotograficznego zjawiska i cieszyć się ogromnymi wrażeniami, które mu towarzyszą. Jeśli natomiast miało się już wcześniej tę okazję, warto podjąć próbę dokumentacji. Tu skorzystałem z ogromnej pomocy Marka Nowaka z Astronomii Novej, który wypożyczył mi aparat Nikon D300 wraz z obiektywem MC MTO-11C A i odpowiednim filtrem słonecznym. Marty Sisam z Evans&Sutherland wypożyczył mi też na miejscu obserwacji jeden ze swoich statywów.



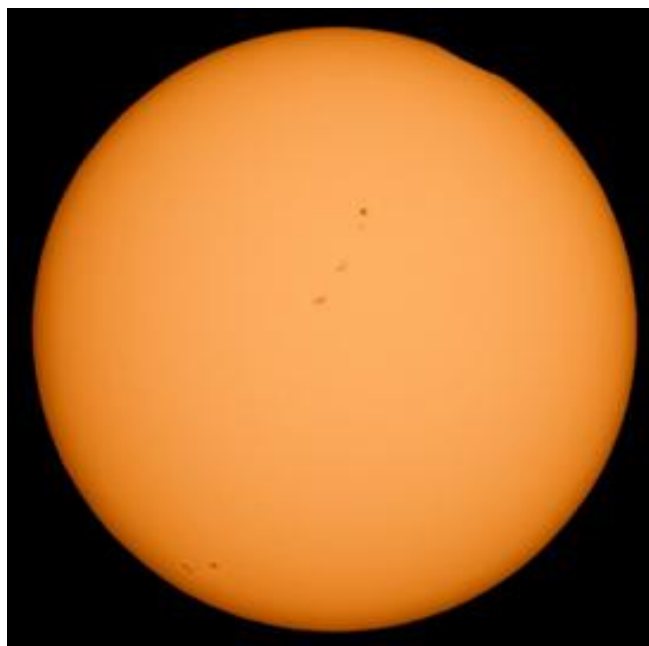
Najbardziej znany gejzer parku Yellowstone Old Faithful (po lewej) oraz gorące jezioro Grand Prismatic (po prawej).

Podróżowanie autobusami czy pociągami po Stanach Zjednoczonych jest w zasadzie niemożliwe. Tylko kilka regionów ma rozbudowane sieci kolejowe, a autobusy łączą jedynie największe miasta. Jedynym środkiem lokomocji pozostaje samochód. Wypożyczenie, a następnie poruszanie się autem po tym kraju, jest wygodne i dosyć tanie ze względu na ceny paliwa ponad połowę tańsze od naszych oraz na niewielkie natężenie ruchu poza największymi miastami. Dało nam to możliwość odwiedzenia przy okazji parków Grand Teton National Park oraz Yellowstone National Park, które położone są niecałe 200 km od miejsca, z którego planowane były obserwacje zaćmienia. Trudno opisać w kilku zdaniach wrażenie, jakie wywiera na Europejczykach ogromna przestrzeń. Sam park Yellowstone ma powierzchnię porównywalną z województwem opolskim. Można przejechać wiele kilometrów i po horyzont nie widzieć żadnego śladu obecności człowieka, z wyjątkiem samej drogi, na której mijane samochody to rzadkość.

Najważniejszym celem były jednak obserwacje. Pogoda nie zawiodła. Choć wczesnym porankiem 21 sierpnia na tle Słońca przechodziło trochę cienkich chmur, to jeszcze przed pierwszym kontaktem niebo stało się idealnie czyste. Około godziny 10:16 rozpoczęło się częściowe zaćmienie. Faza całkowita rozpoczęła się około 11:34 zaznaczając ten moment przepięknym zjawiskiem zwanym „pierścieniem z brylantem”. W Irwin, całkowite zaćmienie nie trwało zbyt długo, bo około 107 sekund. Udało się wtedy zrobić przepiękne zdjęcia korony słonecznej.



Autor artykułu przy sprzęcie przygotowanym do obserwacji.
(*fot. R R. Landis*).



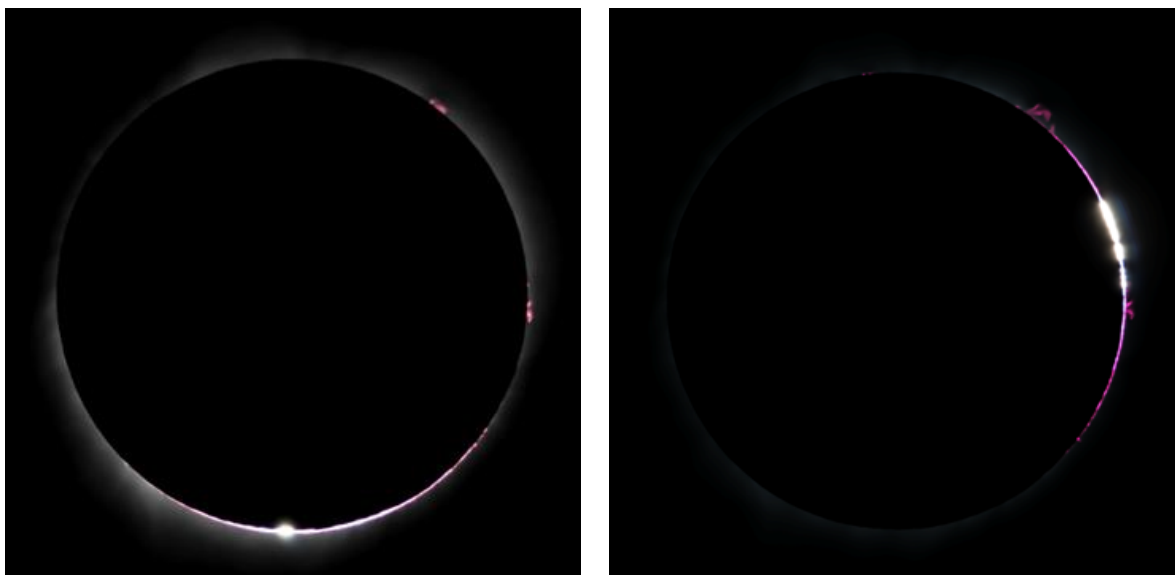
W prawym górnym rogu zaznacza się początek zaćmienia. Na fotografii widoczne są też plamy oraz pociemnienie brzegowe Słońca.



Faza zaćmienia całkowitego. Widoczne protuberancje (różowe) oraz korona słoneczna.

Tymczasem wokół panowały ciemności, które były całkiem inne niż zmrok panujący wkrótce po zachodzie Słońca, lub podczas najgłębszej letniej burzy. Jednak by różnice poznać, trzeba to zjawisko zobaczyć na własne oczy.

Tuż przed oraz tuż po fazie całkowitej można było zobaczyć nieczęsto towarzyszące całkowitym zaćmieniom falujące cienie, które powodowane są przez turbulencje atmosfery ziemskiej. Trudno jest je jednak uchwycić na fotografii ze względu na bardzo małą ilość światła docierającego od Słońca.



Pierścień z brylantem i perły Baily'ego.



Panorama wokół miejsca obserwacji podczas fazy całkowitego zaćmienia.
(fot. R.R. Landis)

Po zakończeniu całkowitej fazy zaćmienia emocje szybko opadły, a mimo trwającej jeszcze fazy częściowej zapanowała atmosfera pikniku. Parę godzin później trzeba było już zbierać się w podróż powrotną.

Zaćmienie miało miejsce w poniedziałek około południa, co dla wielu mieszkańców okolicznych stanów było pretekstem do dłuższego weekendu. Mimo ostrzeżeń, ruch w kierunku pasa zaćmienia był umiarkowany, ponieważ rozłożył się na piątkowe popołudnie, sobotę, niedzielę i wczesny poniedziałkowy poranek. Droga powrotna niestety zamieniła się na pełzający korek na wszystkich okolicznych drogach. Nie było już powodu zostawać na miejscu dłużej, a dla wielu następny dzień był dniem roboczym. W ten sposób, z prędkością przekraczającą ledwie 15km/h, przyszło nam przejechać prawie 80 kilometrów w okolicy Idaho Falls, w drodze powrotnej do Salt Lake City, skąd odlatywał następnego dnia samolot do Polski. Szykując się na zaćmienie na Gibraltarze w roku 2027, warto przewidzieć podobne zjawisko – tłumy tury-

stów zdążające w krótkim czasie do wąskiego pasa lądu, a później planujące równie szybki powrót.



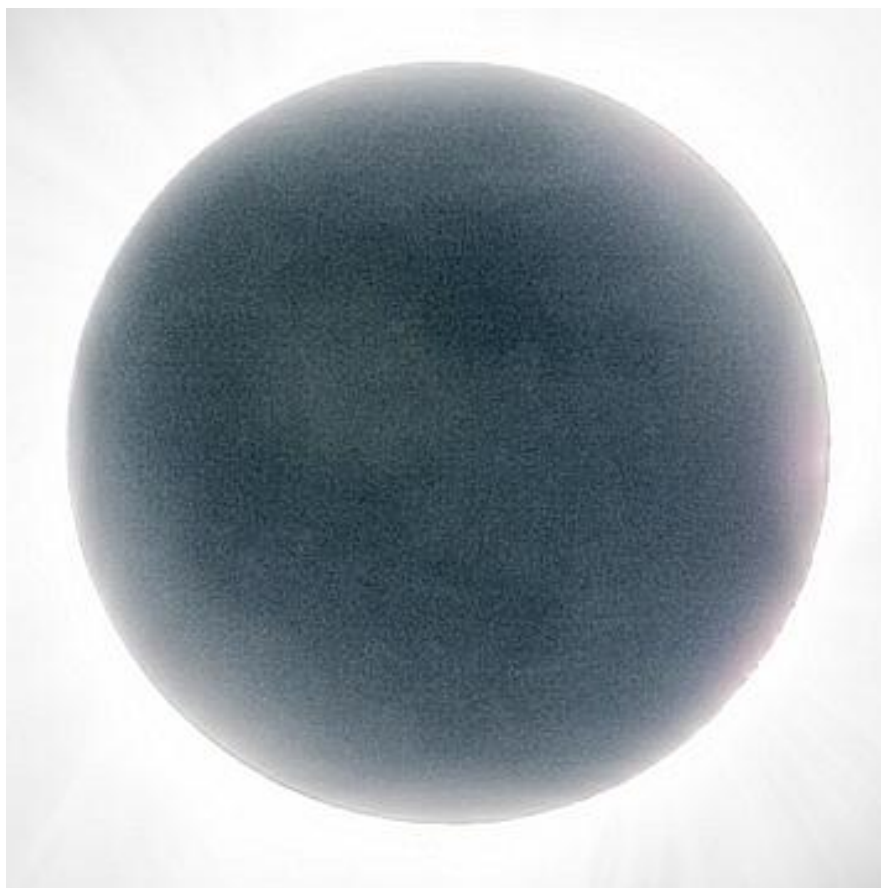
Korki w drodze powrotnej były koszmarne.

Cała podróż po Ameryce, ze względu na ograniczony wolny czas i fundusze, musiała zamknąć się w ledwie czterech dobach. Było to zbyt krótko, żeby nacieszyć się nie tylko samym zjawiskiem, ale także zwiedzaniem okolic Salt Lake City. Miłym dodatkiem na sam koniec była widziana z samolotu zorza polarna, która choć gołym okiem dostrzegana, jako ledwo widoczna biała szara mgiełka, na zdjęciu dała się uwiecznić w pełni kolorów.



Widziana z samolotu nad Grenlandią zorza polarna.

Po powrocie do kraju, z cyfrowych klatek, udało się wydobyć nawet popielate światło Księżyca w trakcie maksymalnej fazy zaćmienia.



Światło popielate Księżyca podczas fazy całkowitego zaćmienia.



(Wszystkie zdjęcia, jeśli nie zaznaczono inaczej, zostały wykonane przez autorów niniejszego artykułu.)

Rozwój EC1 w roku 2017

Tomasz Kisiel

Stowarzyszenie Astronomia Nova

8 stycznia 2018 mija druga rocznica otwarcia dla publiczności Planetarium EC1. Była to pierwsza atrakcja udostępniona zwiedzającym na terenie dawnej Elektrowni Łódzkiej. Jednocześnie jest to dopiero zapowiedź wszystkich atrakcji, które będą służyły mieszkańcom, jako miejsce mądrego spędzania wolnego czasu. Tylko przez pierwszy rok działalności Planetarium odwiedziło 150000 widzów.



Odnowiona fasada EC1 Łódź

W tym czasie zespół Planetarium opracował i udostępnił 4 tytuły sezonowe – prowadzone na żywo pokazy poświęcone gwiazdozbiорom danej pory roku, pokaz dla dzieci pt. *Kosmos dla najmłodszych*, oraz dwa pokazy dla szkół – pokaz *Najbliższe podwórko* poświęcony obiektom Układu Słonecznego, oraz *Kosmiczne cienie* poświęcony zaćmieniom i zakryciom. Uzupełnia to ofertę pokazów licencjonowanych, zakupionych w trakcie wyposażania Planetarium. W roku 2017 do wcześniej dostępnych pokazów doszły *Polaris*, *Legandy nocnego nieba: Perseusz i Andromeda*, *Niezbadane światy*, oraz pokaz muzyczny *U2*.

W drugim roku działalności, Planetarium odwiedziło około 120000 osób, co jest bardzo dobrym wynikiem biorąc pod uwagę, że opadł nieco efekt nowości, a planetarium zajęło w percepcji łodzian należne miejsce wśród stałych atrakcji miasta. Jest to bardzo dobry rezultat, jeśli wziąć pod uwagę udostęp-

nienie odwiedzającym w listopadzie wspaniałej wystawy czasowej *Leonardo da Vinci – Energia Umysłu*, którą będzie można zwiedzać do końca maja 2018 roku.

Niemal równocześnie z drugą rocznicą otwarcia planetarium, 7 stycznia 2018 otwiera się dla publiczności Centrum Nauki i Techniki. Zawierać ono będzie około 150 interaktywnych stanowisk, zgrupowanych w trzech niezależnych ścieżkach zwiedzania: *Przetwarzanie energii*, *Mikroświat makroświat* oraz *Rozwój wiedzy i cywilizacji*. Stanowiska udostępniane w ramach tych ścieżek z jednej strony nawiązują tematyką i stylistyką do dawnego charakteru miejsca, z drugiej strony, w nowoczesny i atrakcyjny sposób przybliżają zagadnienia związane z prawami fizyki, chemii, procesami technologicznymi wytwarzania energii elektrycznej, czy dokonaniem związanymi z badaniami kosmosu.



Przestrzeń okalającą główną salę projekcyjną.
Kopuła tej sali przebija się na drugą kondygnację.

W ramach zwiedzania Centrum Nauki i Techniki odwiedzić będzie można także kino 3D, będące w istocie, od strony technologicznej i tematycznej, drugim planetarium na terenie kompleksu EC1. Nieco mniejsza sala, mieszcząca około 45 osób, będzie służyła prezentacji Kosmosu w wielkich i niezwykle małych skalach. Pokazy będą nieco krótsze niż w Planetarium i będą powiązane tematycznie z wystawą. Część pokazów będzie wykorzystywała technologię trójwymiarowego obrazu Active 3D.

Również kolejne lata zapowiadają ciekawe wydarzenia na terenie EC1. Rozpoczyna się niebawem remont kompleksu EC1 Południowy Wschód, w którym mieścić się będzie Centrum Komiksu i Narracji Interaktywnej. Zanim to się jednak stanie, zakończy się proces aranżacji i wyposażenia Narodowego Centrum Kultury Filmowej, które mieścić się będzie w EC1 Wschód, a więc w budynku, który odwiedzający już znają z racji działalności Planetarium. Oferta obu centrów powinna być dostępna dla widzów około 2020 roku.

(Fotografie z kolekcji autora)

Mój staż w Europejskiej Agencji Kosmicznej 2015-2017

Agata Kołodziejczyk^{1,2}

¹Stowarzyszenie Astronomia Nova

²Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim



Autorka na okładce Gazety Wyborczej (*Wysokie Obcasy*, sierpień, 2017)

Chciałabym się podzielić przygodą niezwykłą, którą dane mi było przeżyć podczas odbywania stażu postdoka w Europejskim Centrum Technologii i Nauki Europejskiej Agencji Kosmicznej, znajdującego się na brzegu Morza Północnego, w holenderskim miasteczku Noordwijk.

Wiść o otrzymaniu wymarzonej pracy w Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) dochodziła do mnie kilka dni, kiedy w końcu zdecydowałam wspólnie z rodziną, że po raz kolejny opuszczamy kraj i jedziemy, tym razem do Holandii. Miałam tam pojechać wcześniej, wdroyć się w nowe obowiązki i przygotować bezpieczną bazę dla reszty rodziny. Każdy dzień przynosił nowe wyzwania, głowa bolała od tworzenia nowych szlaków połączeń neuronów w mózgu, ale nie żałowałam ani sekundy. Chłonełam nowe środowisko jak wyschnięta gąbka. Czułam, że jestem w rajach dla naukowców o nieograniczonej wolności i kosmicznych możliwościach. Szybko zapoznałam się ze strukturą zespołu zwanego Advanced Concepts Team (ACT) w Departamencie Strategii Przyszłości. Hierarchia była prosta: dwóch szefów (jeden polityczny, drugi techniczny), kilku postdoków (fizyk, matematyk, informatyk, chemik fizyczny, chemik i geolog), kilku świeżo upieczonych magistrów, wreszcie kilku studentów realizujących trzymiesięczne staże. W sumie 20 osób zlokaliz-

zowanych w biurze podzielonym szybami na trzy części zwane akwariami. W zespole mówiło się do innych per Ty, traktowano się wzajemnie z ogromnym szacunkiem i nieskrywanym podziwem wobec zasłyszanych bądź zacytowanych zasług. Szefowie mieli za zadanie nas chronić przed administracją i finansować marzenia. Czegóż można chcieć więcej?

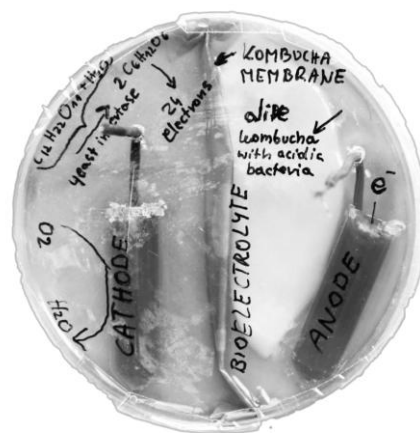
Jako jedyny biolog czułam wdzięczność, że znalazłam się wśród wybrańców. Pierwsze spotkanie z szefami trwało ponad godzinę. Miałam przedstawić harmonogram zadań na nadchodzące dwa lata. Nie wyobrażałam sobie spędzić ich jak pozostali w ACT – za ekranem komputera, ale szefowie wyraźnie dali do zrozumienia, że tak się tutaj pracuje, mogę ewentualnie skorzystać z wyposażenia lokalnego Life Sciences Laboratory lub działać w ramach współpracy z wybranym ośrodkiem naukowym na świecie. Ze strony ACT istniała możliwość dofinansowania takiej zewnętrznej współpracy do kwoty 20000 EU w ramach wewnętrznego instrumentu grantowego zwanego Ariadna Project. Moim zadaniem było skupienie się na pracy teoretycznej, w sferze *terra incognita* i w tematyce obecnie uznanej przez świat nauki jako niemożliwej, albo możliwej w przyszłym półwieczu, pod warunkiem, że ktoś się dostatecznie uprze i poświęci na to całe własne życie. Moje propozycje projektów znacząco przekraczały dostępny budżet. To, co można było za te pieniądze zrobić, to jedynie badanie na poziomie projektu magisterskiego.



TRICKY BIOLOGY...AND ONLY 2 YEARS



1. Photosynthetic biomaterials (50 000 EU)
2. Alternative bioreactors (50 000 EU)
3. Habitat Lunares - advanced simulation base (present: 200 000 EU)
4. Time architecture: physiological lamps for synchronisation of the biological clock (protein synthesis) – optimisation of artificial Sun in isolated spaces (present: 60 000 EU)
5. Subjective time perception ("for free")



Lista projektów, nad którymi pracowałam przez dwa lata w ACT. Znacząco przewyższały one dostępny budżet. Nadal są one realizowane, cały czas finansowane poza ramami ESA. Po prawej stronie model bioreaktora, który wykonałam z kombuczy w celu demonstracji generowania energii elektrycznej z procesów biochemicznych. (Źródło: Agata Kołodziejczyk, finalna prezentacja pracy w ESA)

Przyszło pierwsze rozczarowanie. Okazało się, że praktycznie nie wiele mogę dokonać w ciągu dwóch lat stażu, a moje pomysły eksperymentalne nie mają najmniejszych szans realizacji. ESA nie stawiała jakichś konkretnych wymagań. Wystarczyło ze dwa razy w roku uczestniczyć w jakiejś europejskiej konferencji naukowej. Jakże inny był to schemat pracy w porównaniu do staży postdoka na uniwersytetach! Pełna wolność i swoboda, zero odpowie-

działności i obowiązków. Samemu trzeba było się dyscyplinować i wytyczać sobie zadania, by jak najlepiej wykorzystać czas stażu. W ten sposób zrodził się koncept architektury czasu, a z tego pierwsza publikacja, pierwsza konferencja... tak się zaczęło jedno z moich największych, jak dotąd, przedsięwzięć życiowych.

Architektura czasu

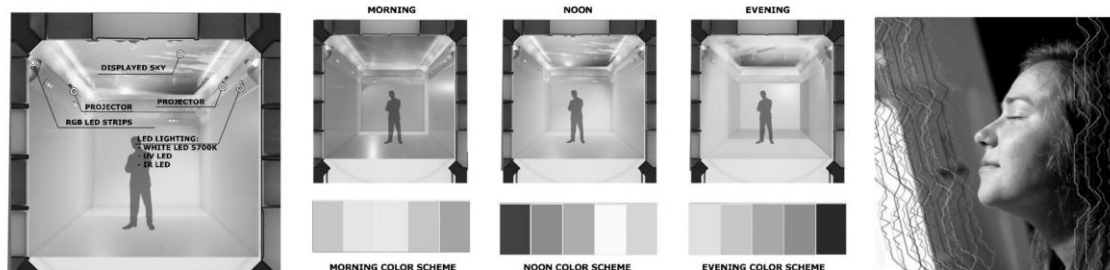
Cóż to właściwie jest? Pierwsza myśl, która przychodzi do głowy, kojarzy się z relacją czasu w architekturze, znanej wszystkim architektom, którym się płaci za trwałość konstrukcji. W tym ujęciu czas jest parametrem kluczowym w wizerunku ludzkiego postępu i świadczy o potędze cywilizacji, która potrafi tworzyć ponadczasowe budowle. Pojęcia “architektura czasu” darmo szukać w internecie, bo tworząc to określenie, chodziło mi faktycznie o budowle z czasu, których na świecie po prostu nie ma. Koncept zakłada stwarzanie iluzji poprzez zestawienie systemów oddziałujących z ośrodkami percepcji czasu.

Time Architecture



- To regulate biological clocks of astronauts using specific wavelengths of light at specific time acting directly on clock-related proteins.
- To simulate day/night cycles with newly-designed LED lightning modules.
- Scientific experiments performed in July, August, October, November 2017 in the habitat in Poland during the Lunar and Martian Analog Simulation Campaigns in collaboration with Arctic UNIS.

ARTIFICIAL DAY-NIGHT CYCLE CONCEPT



Główny cel projektu “architektury czasu”: synchronizacja zegara biologicznego w warunkach izolacji poprzez nieinwazyjne sterowanie światłem. Grafika przedstawia opracowanie symulacji świtu, zachodu i dnia w izolacji (grafika: L. Orzechowski, źródło: Kolodziejczyk et al., 2016 Acta Futura). Po prawej stronie zdjęcie analogowej astronautki pod ekspozycją prototypu oświetlenia stymulującego syntezę serotoniny w mózgu (Źródło: Mariusz Słownika, edycja: A. Kolodziejczyk).

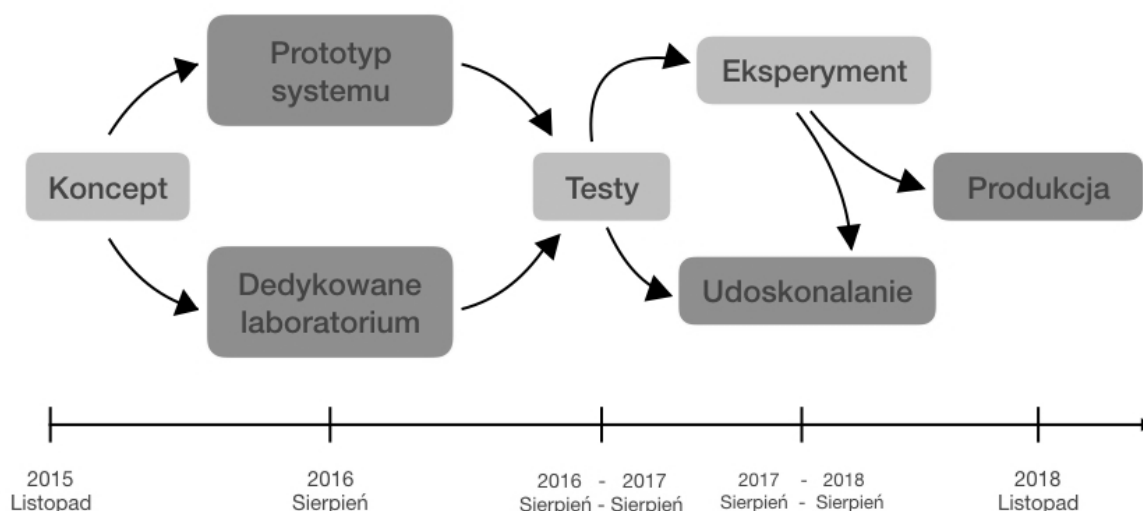
Ale czy można budować z czasu? Układać klocki naszego życia w ten sposób, aby w środku czuć się ponadczasowo i fizycznie zatrzymać procesy starzenia? Einstein w jednej ze swoich wypowiedzi zaznaczył, że czas jest iluzją. Zdaje się to potwierdzać u organizmów żywych, u których poczucie czasu jest zadziwiająco względne. U człowieka i nielicznych naczelnych zdolność poczucia czasu wyewoluowała wraz z rozwojem mózgu w zakresie zdolności wykonywania analitycznych operacji myślowych związanych z planowaniem i decydowaniem. Planowanie wymaga zdolności wybiegania w przyszłość,

natomiast podejmowanie decyzji wymaga wnioskowania na podstawie zdarzeń przeszłych. Pozostałe organizmy nie posiadają takiej świadomości czasu. Są bardziej uwięzione w teraźniejszości, oddziałując ze środowiskiem zewnętrznym w przewodzie na zasadzie instynktownych zachowań akcji – reakcji.

Aby móc budować z czasu, aby stworzyć klocki czasu, należy dokładnie zapoznać się z macierzą percepcji. Niestety, nie jest to sprawa trywialna, bowiem zegary u człowieka są niezwykle skomplikowane, o zwielokrotnionych autonomiach i skalach. Każdy, kto pracuje z komputerami wie, że wbudowane tam zegary są częścią najbardziej strzeżoną, ukrytą na najniższych poziomach systemowych. Zegary u człowieka są również ukryte i żeby było ciekawiej, jest ich kilka rodzajów, jeśli chodzi o funkcje. Wszystkie są uzbrojone w kopie zapasowe i systemy awaryjne. Wyróżnić tu można:

1. **Zegar biologiczny** odpowiedzialny za regulację homeostatyczną faz snu i aktywności. Centrum tego zegara znajduje się w jądrach nadskrzyżowaniowych mózgu, ale autonomiczne jego jednostki rozproszone są w fibroblastach skóry i komórkach poszczególnych organów;
2. **Zegar molekularny** odpowiedzialny za odliczanie czasu życia poszczególnych komórek. Poprzez enzym telomerazę przy kolejnych podziałach komórki następuje skracanie kodu DNA, co determinuje procesy starzenia;
3. **Zegary subiektywnej percepcji czasu** pracujące na metapoziomach operacji mózgowych zlokalizowane w sześciu rejonach mózgu.

Wprowadzanie iluzji czasu czy przestrajanie systemów liczących wymaga dokładnego zapoznania się z topologią i funkcją danego układu. Innymi słowy, zapoznaniem się, gdzie te ośrodki się znajdują i na jakich zasadach, na jakich sprzężeniach zwrotnych, pracują. Jedną z bardziej zbadanych dróg modulacji, na której obecnie się skupiam, jest droga poprzez siatkówkę oka i powiązana z nią synchronizacja zegara biologicznego poprzez światło. Pomimo, że człowiek nie potrafi konwertować światła w cukier w procesie fotosyntezy, jest on w stanie konwertować światło w szereg procesów biochemicznych. Światło na człowieka może działać stymulująco poprzez indukcję syntezy niektórych związków, np. serotoniny, endorfin, kwasu urokainowego, czy witaminy D. Działa ono również hamująco, np. blokując wydzielanie hormonu snu, melatoniny. Na podstawie danych z literatury udało mi się ustalić, jakie długości fal świetlnych będą wpływały na regulację fazy aktywności człowieka. Konkretnie chodziło mi o opracowanie koktajlu światła celem nieinwazyjnego leczenia jetlagów, wywołanych desynchronizacją zegara biologicznego. Całkowity plan pracy rozłożyłam na trzy lata, co zwizualizowałam poniżej:



Plan badań dotyczących architektury czasu. Tło ciemniejsze odnosi się działań aplikacyjnych, a jaśniejsze do pracy stricte naukowej. Wszelkie działania do tego czasu finansowane były ze środków własnych i inwestycyjnych Spółki Space Garden. Ostatnia faza produkcyjna będzie wykonywana w konsorcjum z holenderską firmą oświetlenia Philips.

Prototyp oświetlenia stymulującego syntezę serotoniny wykonaliśmy już w sierpniu 2016 roku, razem z elektrotechnikiem Danielem Maciejewskim. Zakupiłam odpowiednie LEDY, które dopiero co weszły na rynek światowy, oraz niezbędne elementy do samodzielnej konstrukcji elektroniki. W efekcie powstało sześć reflektorów o mocy 50W (jak na LEDY, bardzo mocne oświetlenie). Pięć lamp zamontowano w tworzącym się habitacie w Pile w 2017, szóstą lampą została wykorzystana w przeprowadzanych przeze mnie testach na roślinach i muszkach owocowych w ESTEC, w użyczonym przez ESA mikroharwesterze. Również w Holandii dokonałam, z pomocą prof. Bernarda Foinga i studentki Heleen Vos, podstawowej analizy spektrum lampy.

W ramach współpracy z dr. Aleksandrem Waśniowskim, udało się sprawnie uzyskać zgodę Komisji Bioetycznej, na przeprowadzenie eksperymentów ze światłem na ludziach w izolacji. W ESA taka procedura formalna trwałaby minimum rok, a nam się udało w trzy miesiące.

Laboratorium Czasu to nie tylko infrastruktura, ale i zespół ludzi

Złożoność projektu “architektury czasu” wymagała nie tylko stworzenia prototypu oświetlenia i testowania go na roślinach i małych bezkręgowcach. Docelowo zaprojektowane światło miało oddziaływać na ludzi. Początkowo szukałam gotowych placówek naukowo badawczych i szpitali, gdzie można by przeprowadzić tego typu badania. Niestety, wszystkie miejsca trzeba było modyfikować i dostosowywać do potrzeb projektu. Okazało się, że najtaniej i najszybciej będzie wykonać niezależne laboratorium czasu. W tym celu równolegle trzeba było zorganizować specjalistyczną infrastrukturę oraz ludzi. Przyjeżdżałam regularnie do Polski wykorzystując urlopy i prywatne pieniądze, aby organizować szkolenia. Pozostałe dostępne środki wydawałam na

zakup specjalistycznego sprzętu stanowiącego wyposażenie tworzącego się laboratorium - pierwszej bazy kosmicznej w Polsce. Konieczne było stworzyć absolutne minimum, aby w habitacie żyło się komfortowo i aby można było wykonywać niezbędne eksperymenty. Ludzi też trzeba było odpowiednio przygotować. Napisałam manual habitatu, manual misji, arkusze z pytaniami egzaminacyjnymi. Osobiście egzaminowałam analogowych astronautów i dokonywałam selekcji. To jednak była ta prostsza część przygotowywania ludzi. Potrzeba było przeprowadzić zajęcia praktyczne, w szczególności certyfikowany kurs udzielania pierwszej pomocy oraz szkolenie wytrzymałościowe. W ten sposób zorganizowałam wspólnie z Fundacją "Dla Zdrowia" integracyjne szkolenie survivalowe dla kandydatów do misji zaplanowanych na rok 2017. Poprosiliśmy najlepszych szkoleniowców: specjalistów od wykorzystania tuneli aerodynamicznych, byłych żołnierzy służb specjalnych, lekarzy i ratowników medycznych oraz specjalistów od nurkowania.

Następnym krokiem było przygotowanie infrastruktury. W budowie laboratorium pomogło wiele ludzi z Polski i zagranicy, którzy za własne pieniądze przyjeżdżali do Piły i bezinteresownie pracowali albo ofiarowali własny sprzęt, jak np. Instytut Dizajnu Kielce, który udostępnił nam za darmo system hydroponiczny wraz z roślinami i medium. Gdyby nie fundator i założyciel Spółki Space Garden, Marcin Traple, oraz prezes spółki córki Space is More, architekt Leszek Orzechowski, gdyby nie twórca systemu operacyjnego habitatu Matt Harasymczuk i osoba odpowiedzialna za kontakt z mediami, Radek Grabarek, baza nie powstała by w Pile w tak szybkim czasie tj. w ciągu trzech tygodni. Należy również wyjaśnić, że bazę przeniesiono do Piły z poprzedniej lokalizacji w Rzepienniku, ze względu na pojawienie się atrakcyjnych możliwości pełnej izolacji habitatu wraz z terenem do spacerów kosmicznych. Władze miasta Piły wydzierżawiły nam hangar lotniczy o powierzchni 300m² wraz z utwardzonym terenem wokół. Lokalizacja bazy na lotnisku wojskowym w Pile była dodatkowym plusem związanym z rozwiązaniami komunikacyjnymi i możliwością nawiązania współpracy z lokalnym Związkiem Spadochroniarzy Polskich celem przyszłych szkoleń analogowych astronautów, wykonywania lotów parabolicznych i prowadzenia eksperymentów naukowych w cyklach kilkusekundowej mikrogravitacji.

W okresie letnio-jesiennym 2017 r. odbyły się z sukcesem i zgodnie z planem cztery analogowe misje:

28-13 sierpnia - marsjańska misja *PMAS* (ponad 20 państw),

15-29 sierpnia - księżycowa misja *Lunar Expedition I*,

13-15 września - polska edukacyjna misja księżycowa *Youth for Moon*,

8-22 października - marsjańska misja *ICARes-1*.

Trzy misje dwutygodniowe (*PMAS*, *Lunar Expedition* i *ICARes-1*), stanowiły powtórzenia eksperymentu z czasem. Każdy członek misji rozpoczynał eksperyment na tydzień przed misją, a kończył tydzień po misji. W sumie, każda z osób uczestniczyła w eksperymencie przez cały miesiąc.



Fotoreportaż ze szkolenia analogowych astronautów Air/Land/water, które odbyło się 5-7 maja 2017. (Źródło: *Monica Alcazar Duarte* (jej zdjęcia z tego wydarzenia uzyskały nagrodę w Londyńskim Konkursie fotograficznym 2017 Bar Tur Photobook Award i obecnie stanowią wystawę w Londyńskiej Galerii Fotografii)).



Fotoreportaż z utworzonego habitatu Lunares w Pile (www.lunares.space).
(fot. *M. Harasymczuk, A. Kołodziejczyk, M. Słonina*)

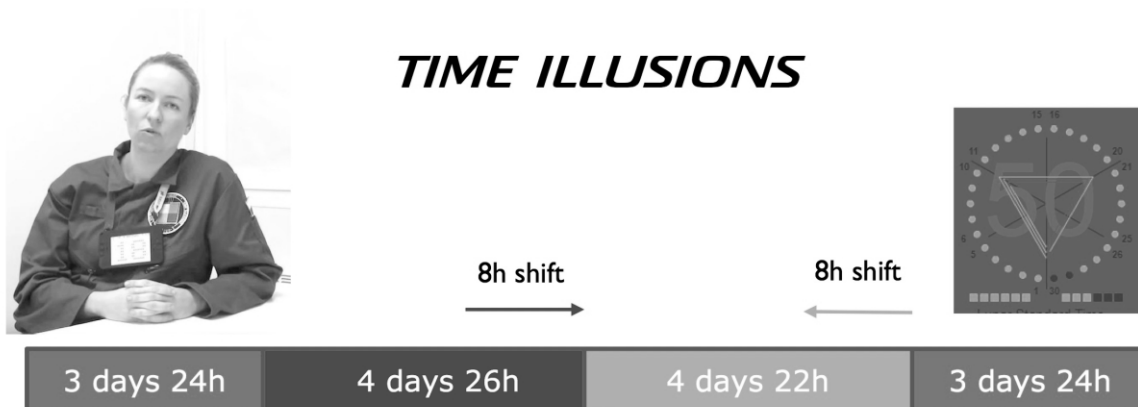


Edukacyjna misja księżycowa poświęcona była szkoleniu 22 osób młodzieży gimnazjalnej z Lęborka i uczniów liceum nr 3 z Gdyni. Jako koordynator misji przygotowałam wszelkie materiały pomocnicze oraz karty pracy dla uczniów. Należy zaznaczyć, że każda osoba miała inną kartę pracy, zależnie od realizowanej w czasie misji roli, co oznaczało przygotowanie w sumie 60-stronicowego podręcznika misji z 16 rodzajami kart pracy.



Zdjęcie analogowych astronautów pierwszej polskiej misji marsjańskiej ICares-1 z udziałem niepełnosprawnego Marcina Kaczmarzyka, doktoranta Politechniki Rzeszowskiej, pasjonaty kosmosu. Była to pierwsza tego typu misja na świecie. Wiadomość o niej rozeszła się szeroko i stanowi inspirację do misji analogowych prowadzonych przez NASA i ESA. (Źródło: lunares.space)

Analiza danych wykazała, że członkowie misji już po trzech dobach stracili poczucie czasu ziemskiego, a jetlag poczuli dopiero w trzeciej fazie eksperymentu, przy skracanych dobach. Nie potrafili uznać, ile doba była skracana, ale indukowaną percepcję czasu, czyli poczucie upływu odcinków 5-sekundowych, wszyscy badani relacjonowali prawidłowo. Co więcej, trening percepcji czasu w czasie misji przyniósł znaczącą poprawę percepcji czasu. W czasie eksperymentu zauważono ciekawą relację wpływu zmian długości doby na gospodarkę wodną w organizmie. Na czas obecny nie wykazano wpływu niwelowania jetlagu testowanym prototypem oświetlenia. W następnych latach planowana jest wnikliwa analiza biochemiczna śliny i moczu badanych oraz udoskonalenie formy prototypu oświetlenia.



Phase I

Phase II

Phase III

Phase IV

W czasie izolacji astronauta poddani byli iluzjom czasu. Na początku, pierwsze trzy doby misji, były normalne 24-godzinne, następne cztery doby miały po 26 godzin, dalsze cztery po 22 godziny i ostatnie trzy znów po 24 godziny. Po prawej stronie zaprezentowano zegar księżycowy, jakim posługiwali się astronauta w trakcie misji.

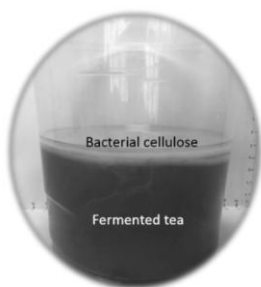
Futro z mszaków dla astronautów

Drugim pomysłem, którym się podzieliłam jeszcze przed dostaniem pracy w ESA i dzięki któremu właśnie dostałam pracę w ACT, to było zaprojektowanie i utworzenie biomateriału fotosyntetycznego do filtrowania powietrza w przyszłych habitatach pozaziemskich. Na początku myślałam, że uda się zrobić wszystko siłami ACT. Wylczyłam, że już za 5000 EU możliwe było zrobienie badań pilotażowych. Zebrałam zespół złożony z dwóch chemików, postdoków ACT, ale niestety nic z tego nie wyszło. Każdy z nas miał swoje sprawy, ciężko było się dogadać i znaleźć wspólny język. Chemicy powiedzieli, że projekt jest niemożliwy do realizacji. Na dowód pokazali maila z Oxfordu od guru sztucznej fotosyntezy, który napisał, że to co chcemy robić, jest niemożliwe. Zostałam sama z odczynnikami na medium dla mchów, kupionymi przez szefa za ok. 500 EU, i zaczęłam pierwsze eksperymenty. Mchy zebrałam z holenderskich chodników. Kolejnym utrudnieniem był brak dostępu do laboratorium Life Sciences. Za każdym razem, kiedy chciałam zważyć odczynniki, coś przygotować, musiałam przechodzić kilkudniową procedurę otrzymania zgody na skorzystanie z laboratorium. Zawsze też musiała być przy mnie osoba kontrolująca poczynania. Aby nie zniechęcić mnie do pracy, miałam zadanie napisać artykuł o biomateriałach i bioreaktorach i zaprezentować ACT na prestiżowej konferencji w Wiedniu. Dodatkowo miałam lecieć do Szwajcarii na zamknięte sympozja z systemów podtrzymywania życia. Celem było napisanie raportu o roli budowy niezależnych systemów produkcji żywności, reutilizacji śmieci i odpadów w migracji ludności na świecie. Wiadomości te były tak ciekawe, że sama postanowiłam zwrócić się w stronę roz-

woju niezależnych systemów podtrzymywania życia, konkretnie upraw akwaponicznych w mieszkaniach miejskich ograniczając powierzchnię uprawy do 60m².

W projekt futra z mszaków dla astronautów nikt nie wierzył (poza mną). Czułam się zobowiązana do wykonania tego, co obiecałam, a mając pełną wizję jak co robić, potrzebne tylko były właściwe środki i narzędzia. Aby w pełni zrealizować cele, potrzebowałam profesjonalnego laboratorium biologii komórki, briologii i biotechnologii. Koszt realizacji ok. 200 000 EU. Nawet nie poszłam z tą informacją do szefa. Wiadomo, że nie było szans na finansowanie projektu. Widząc, że nie jestem w stanie w dwa lata wykonać “futra z mszaków”, zmieniłam materiał badawczy ze skomplikowanych mszaków na równie skomplikowane, ale łatwiejsze w hodowli, bakterie i drożdże żyjące ze sobą w symbiozie, a funkcjonujące pod nazwą kombucza. Kombucza została odkryta w Mandżurii 4000 lat przed Chrystusem, jako napój z probiotykami, ale również jako źródło celulozy bakteryjnej, którą tworzą żyjące na powierzchni tego roztworu bakterie kwasowe. Pomyślałam, że jakby ubogacić tę celulozę w naturalnie wbudowane cyjanobakterie fotosyntetyczne, można by uzyskać funkcjonalny biomateriał fotosyntetyczny pomijając czasochłonną i horrendalnie drogą bioinżynierię genetyczną.

Niezależnie od badań naukowych, interdyscyplinarne środowisko Europejskiej Agencji Kosmicznej otwarło szerokie możliwości współpracy z artystami. Dzięki temu przygotowywałam biomateriał z kombuczy na potrzeby prac artystów. Sama niezależnie eksperymentowałam w domu po godzinach. W ten sposób powstała wystawa w Centrum Nauki Kopernik z efektami mojej pracy. Zaprezentowałam metody obróbki celulozy w formie nici, papieru, bandażu i materiału przypominającego worek foliowy, a także techniki barwienia. Poniżej zestawiałam kilka przykładów.



Kombucha brewing

+



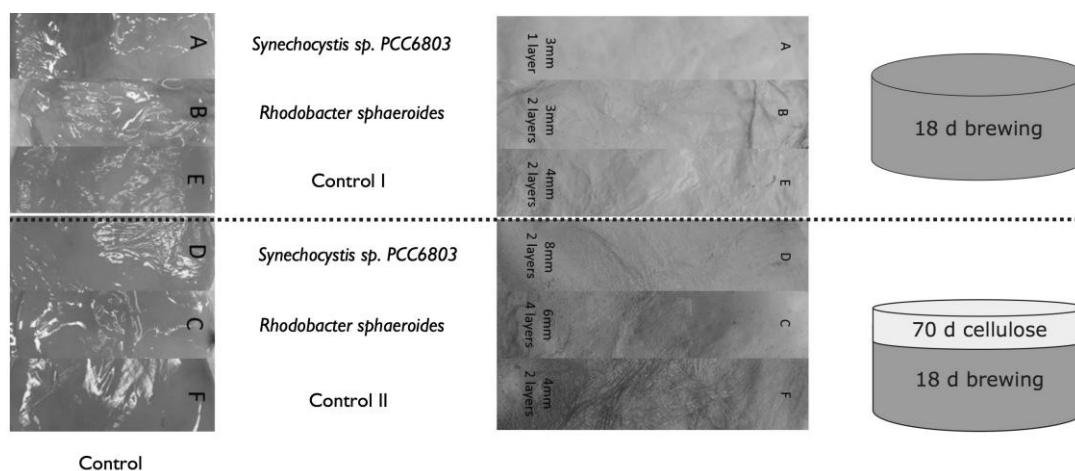
Photosynthetic microorganism

=



Air and body filter

Idea projektu polegała na połączeniu kombuczy (konsorcjum bakterii i drożdży) z organizmem fotosyntetycznym i na tej podstawie uzyskanie biomateriału fotosyntetycznego do wykorzystania jako: ubranie dla astronautów, filtr powietrza do habitatów oraz alternatywne źródło pozyskiwania energii elektrycznej i witamin.



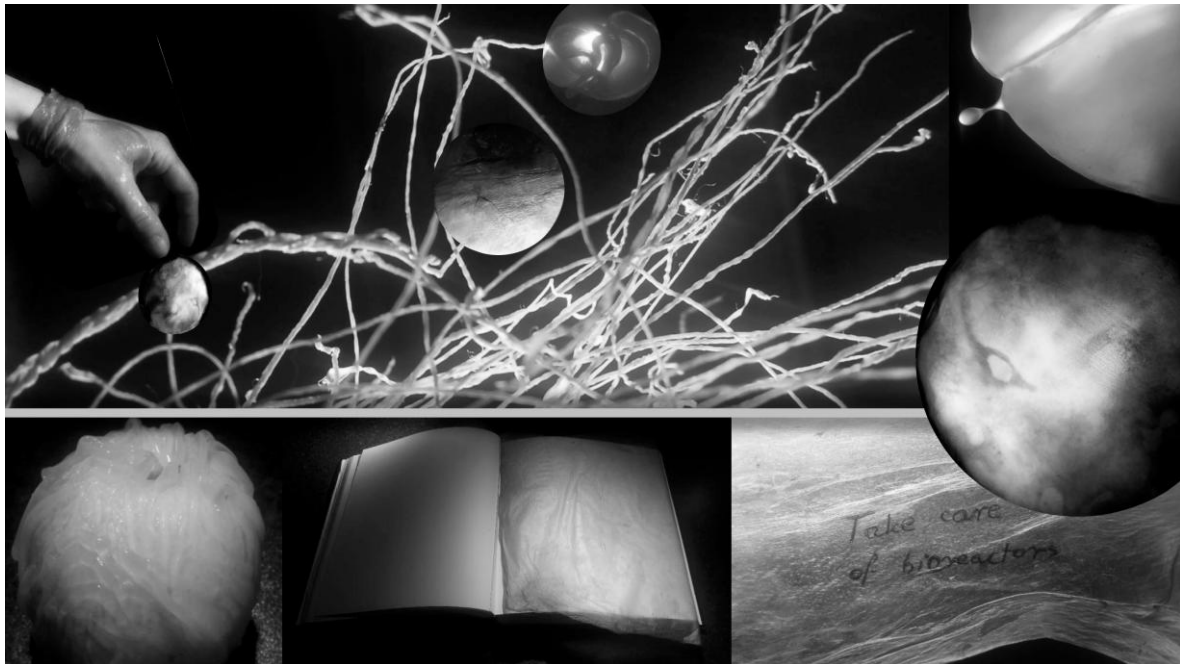
W wyniku połączenia 18-dniowej kombuczy z materiałem fotosyntetycznym (cyjanobakteriami *Synechocystis* i *Rhodobacter*), nastąpiła zmiana właściwości fizycznych (kolor, kształt, struktura) i chemicznych (pH, hydrofobowość), utworzonej celulozy bakteryjnej. Badania eksperymentalne nadal są w toku.

Poza projektami realizowanymi w Advanced Concepts Team, od czasu do czasu proszono nas do pracy w charakterze konsultanta albo doradcy na spotkaniach z przemysłem kosmicznym, na potrzeby wewnętrznych projektów ESA, czy podczas planowania przyszłych misji kosmicznych. Bardzo miło wspominać projekt w Concurrent Design Facility, gdzie zaproszono mnie jako eksperta od biomimetyki. Była to praca nad teleskopem, który miał być wystrzelony w kosmos za 11 lat, obecnie większość części znajdowała się na halach produkcyjnych w różnych zakątkach świata. Moja propozycja wykonania osłony na dnie lustra, a nie na zewnątrz, była innowacyjna i spotkała się z ogromnym zainteresowaniem. Obecnie nie jest możliwa do realizacji, ponieważ moduły lustra już zostały utworzone. Moja koncepcja zakładała natomiast całkowitą zmianę konstrukcji modułów. Raporty zostały, być może ktoś w przyszłości zerknie na nie i zainspiruje go to do tworzenia nowych technologii w optyce kosmicznej.


W wyniku pracy w ESA nie napisałam publikacji do Nature, ale wiele się nauczyłam i zdecydowanie nie był to czas stracony. Udało mi się nawiązać cenne znajomości i rozwinąć w nieznanych dotychczas obszarach, istotnych w planowanych działaniach przyszłych. Wykonałam szereg prezentacji, plakatów i publikacji, otrzymując przy tym dwie nagrody naukowe.

Co ciekawe, dzięki tworzeniu Laboratorium Czasu w bazie *Lunares*, byłam wyróżniana za osiągnięcia również przez polskie uczelnie i media. Doświadczylam bólu tworzenia prototypów. Wspólnie z inżynierami udało mi się wykonać trzy urządzenia na potrzeby wyposażenia habitatu *Lunares*. Całkiem sama stworzyłam prototyp generatora energii elektrycznej, otrzymywanej w bioreaktorze z kombuczą. Obecnie projekt jest udoskonalany. Napisałam cztery podręczniki do prowadzenia misji, prowadziłam szereg warsztatów, edukowałam i wyprowadziłam sześcioro stażystów. Rozwinęłam się również artystycznie poprzez poszerzenie współpracy z uznanymi na świecie design-


rami oraz poprzez wymianę doświadczeń w zespole Symbiotic Machines w laboratorium Hybrid Systems na uniwersytecie w Amsterdamzie.



Artystyczny kolaż prezentujący różnorodność form i zastosowań materiałów powstałych z celulozy bakteryjnej. W zależności od techniki można utworzyć włókna, papier, biofilmy do elektroforezy, antymikrobiałne okłady bandażozastępcze do regeneracji skóry po poparzeniach, suplementy polipropylenu i innych form plastiku. Kombucza i jej naturalny bioprodukt nadaje się do hodowli w bioreaktorach w przyszłych habitatach kosmicznych.

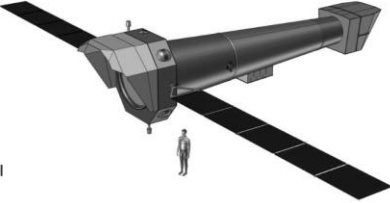
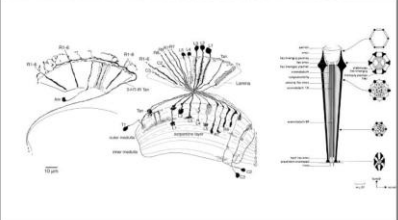
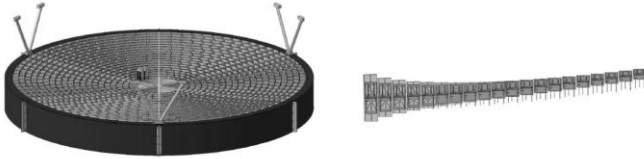
ATHENA Mirror Module Assembly and Baffle ,CDF April 2016 

From existing design in nature to design for advanced manufacturing



ATHENA is an L-class mission (Cosmic Vision L2)
 X-ray telescope to be operated in L2
 Launch in 2028 < 1000 MEur
 Ariane 64
 Studied at CDF in October 2014

3 m diameter
 1062 MMs
 20 rows
 Mass of Mirror Structure allocated in the industrial studies between 770 and 1000 kg

Przedstawienie możliwości zaprojektowania modułu lustra teleskopu bez osłon na podobieństwo rozwiązań obecnych w złożonym oku muchy, gdzie blokowanie dostępu światła następuje za warstwą rejestrującą sygnał, a nie przed.



Podsumowanie działań w czasie dwuletniego stażu postdoca w Advanced Concepts Team.

Jako członek zarządu spółki Space Garden, zdobyłam doświadczenie przede wszystkim w organizacji misji, przygotowania habitatu do pracy, komunikacji z mediami i władzami. Jeśli chodzi o te ostatnie, to jesteśmy na dobrej drodze, aby spełniło się polskie marzenie posiadania następnego po Hermaszewskim astronauty. Możemy zaoferować Agencji Kosmicznej treningi astronautów i przygotowanie ich do misji kosmicznych. W zamian za to Polska nie musiałaby opłacać obowiązkowej składki na utrzymanie stacji kosmicznej ISS. Dodatkowo wierzę, że nasza działalność przyczyni się do utworzenia polskiej kadry sektora kosmicznego wprowadzającej ludzkość w eksplorację i kolonizację nowych ciał niebieskich.



Autorka przy eksperymentalnej hodowli kombuczy.



esa

estec



European Space Agency

Listopad 2017 – z bagażem pozytywnych i negatywnych doświadczeń odlot do Polski.

Przygoda z nieważkością

Mateusz Harasymczuk

ESTEC ESA, Astronomia Nova

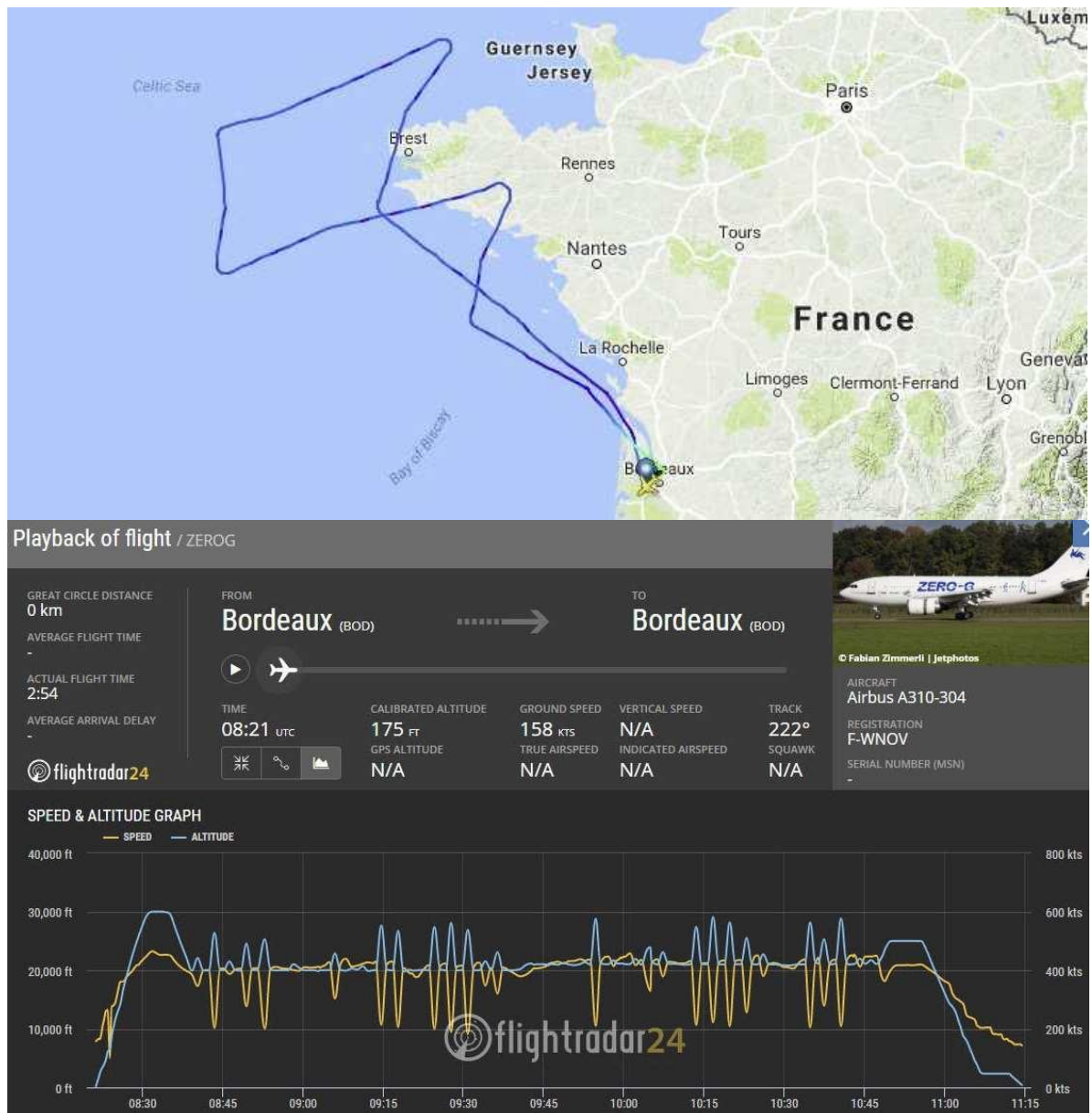
5 grudnia 2017, o godzinie 9:00, z płyty francuskiego lotniska w Bordeaux wystartował samolot Airbus A310 przystosowany do testowania efektów mikrogravitacji. Dwanaście zespołów badawczych przygotowywało się przez półtora roku do przeprowadzenia własnych eksperymentów naukowych. Ja byłem osobą poddaną badaniu w projekcie VESTAND (ang. The contribution of gravity to self-motion perception and standing ballance responses evoked by electrical vestibular stimulation).

Moim zadaniem było poddanie się działaniu stanów hiper- i mikrogravitacji w trakcie stymulacji elektrycznej układu równowagi. Przed wejściem na pokład zostałem podłączony do elektrod mierzących reakcję mojego układu mięśniowego oraz zostały mi założone specjalne okulary śledzące ruch gałek ocznych. W pierwszym dniu eksperymentu przeprowadzono kontrolne pomiary w izolowanym układzie przy stałym przyspieszeniu grawitacyjnym równym 9.81m/s^2 . W pierwszym etapie lotu wszystkie osoby poddawane badaniu zajmowały miejsca w fotelach w części pasażerskiej na tyle statku powietrznego. Po ukończeniu wznoszenia, tj. po około 15 minutach od startu, wszyscy przechodzili na swoje stanowiska eksperymentalne. Moim miejscem było stanowisko VESTAND po prawej stronie centralnej części kadłuba samolotu. Ze względu na pomiar nacisku, tj. odpowiedzi układu mięśniowego, w pierwszej części eksperymentu przymocowano mnie solidnie do przyrządów pomiarowych i z tego powodu nie mogłem swobodnie dryfować w spadku swobodnym. Pomimo to mogłem odczuwać stan nieważkości. Uczucie to było podobne do pierwszych sekund skoku spadochronowego, jednakże trwało znacznie dłużej. Po pięciu manewrach paraboloidalnych zmieniono badanie i przez kolejnych pięć parabol pomiary były przeprowadzane w stanie zwiększonej grawitacji (1.8 g) przy wejściu w manewr oraz w ostatnich pięciu próbach tej części przy wyjściu z paraboli, gdzie przyspieszenie grawitacyjne dochodzi również do 1.8 g. Pomiedzy parabolami dokonywane były pomiary kontrolne. Przy ostatnich dziesięciu parabolach badanie nie było przeprowadzane w stanie nieważkości, więc miałem możliwość swobodnego unoszenia się przez okres 22 sekund.

Druga część eksperymentu bazowała na sprawdzeniu odczuć związanych z rotacją i translacją przy stymulowaniu układu błędnika za pomocą sinusoidalnego strumienia prądu elektrycznego. Przez pierwszych siedem parabol głowa uczestnika eksperymentu była unieruchomiona, a oczy zakryte. Specjalnie napisane do tego celu oprogramowanie, wraz z układem elektronicznym śledzącym ruch gałek ocznych, badało ukryte reakcje organizmu na subiektywne odczucie przesuwania się oraz rotacji w osi podłużnej oraz przez ostatnie osiem manewrów paraboloidalnych, w osi poprzecznej ciała.



Mateusz Harasymczuk (Matt) przygotowany do pierwszego eksperymentu, w którym mierzone było napięcie mięśniowe nóg podczas stymulacji prądem o przebiegu kwadratowym w stanach $1.8g - 0.0g - 1.8g - 1.0g$.



Trajektoria samolotu w trakcie lotów parabolicznych z 5 grudnia 2017. Wykres przedstawia przybliżoną charakterystykę parametrów lotu. Niestety ze względu na zbyt mały czas próbkowania przez serwis Flightradar24 parametrów lotu (w stosunku do prędkości IAS samolotu) wykres nie jest symetryczny, a parabole nie wyglądają na identyczne jak to miało miejsce w rzeczywistości.

Łącznie lot obejmował wykonanie trzydziestu parabol plus jedna parabola zapoznawcza. Uczucie stanu nieważkości, tak jak wspomniałem, przypomina efekt opadania swobodnego przy skoku na spadochronie. W przypadku lotów parabolicznych stan ten utrzymuje się przez 22 sekundy lotu opadającego.

Ze względu na uczestnictwo w eksperymencie mierzącym moją subiektywną percepcję ruchu w stanie nieważkości i w stanie przeciążenia, jako jedna z nielicznych osób nie otrzymałem zastrzyku ze *skopolaminą* – substancją odpowiedzialną za redukcję nudności w czasie lotu. Ze względu na wcześniejsze doświadczenie w pilotażu lotów akrobacyjnych od -3g, przez 0g i przy

przeciążeniach dochodzących nawet do 6g, jako jednemu z niewielu udało mi się opanować reakcje fizjologiczne.

Loty paraboliczne organizowane są dwukrotnie w ciągu roku przez francuską firmę NoveSpace (właściciela i operatora samolotu), której dyrektorem jest Jean-François Clervoy (astronauta ESA) i są finansowane przez ESA oraz CNES (Francuska Agencja Kosmiczna). Zgłoszenia swoich eksperymentów można kierować do ESA, która corocznie ogłasza konkurs na najlepsze eksperymenty. Konkurencja jest bardzo duża i tylko najlepsze projekty są wybierane. Czas przygotowania od koncepcji do lotu trwa około półtora roku.



Matt Harasymczuk (z lewej) z załogą neurobiologów z uniwersytetu w Rotterdamie, którzy uczestniczyli w eksperymencie VESTAND.



Ostatnie siedem parabol. Unieruchomienie głowy w pozycji horyzontalnej w odniesieniu do osi podłużnej samolotu i stymulacja błędniaka prądem o przebiegu sinusoidalnym.

Gwiazda Lubomira

Jacek Kruk

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie

W październiku 2017 roku minęło dziesięć lat od ponownego uruchomienia obserwatorium astronomicznego na Lubomirze. Przypomnijmy, że na tym beskidzkim szczycie (904 m n.p.m.), zwanym wcześniej Łysiną, działała w latach 1922-1944 stacja astronomiczna Narodowego Instytutu Astronomicznego zarządzana przez Uniwersytet Jagielloński. 15 września 1944 roku Niemcy spalili tę placówkę w ramach akcji pacyfikacyjnej na Ziemi Myślenickiej i po wojnie uniwersytet nie zdecydował się jej odbudować. Jednak władze gminy Wiśniowa podjęły taką inicjatywę w 2003 roku. Ostatecznie budowa ruszyła w 2005 roku, a po uzyskaniu dofinansowania od Zarządu Województwa Małopolskiego w grudniu 2005 stało się możliwe jej szybkie ukończenie. Ostatecznie Obserwatorium Astronomiczne im. Tadeusza Banachiewicza zostało otwarte 6 października 2007 roku.

Warto przedstawić przedwojenną historię tej zasłużonej placówki astronomicznej. Najlepiej to zrobi kierująca Stacją Lubomir w latach 1934-1935 Rozalia Szafraniec. Zanim oddamy jej głos, przypomnijmy najważniejsze fakty jej biografii.

Rozalia Szafraniec urodziła się 28 lutego 1910 roku w Siekiernie koło Kielc. Wczesnie utraciła ojca i była wychowywana przez matkę wraz z sześciorgiem rodzeństwa, mimo to zdołała uzyskać solidne wykształcenie – maturę zdała w 1929 roku w Kielcach, a następnie studiowała matematykę w Uniwersytecie Warszawskim u prof. Wacława Sierpińskiego. Studia ukończyła w 1934 roku uzyskując magisterium, potem zamierzała poświęcić się pracy nauczycielskiej. Przyjęła jednak ofertę czasowej pracy obserwatora w stacji astronomicznej na Lubomirze i to zadecydowało, iż ostatecznie została astronomem, choć zarówno przed, jak i po wojnie, przez wiele lat pracowała, jako nauczycielka matematyki. Okres okupacji spędziła w Siekiernie biorąc czynny udział w ruchu oporu, jako żołnierz AK, pseudonim Ażur. Była również nauczycielką na tajnych kompletach w małych miejscowościach na ziemi kieleckiej. Latem 1943 roku w czasie pacyfikacji wsi Michniów zginął jej narzeczony, któremu Rozalia pozostała wierna do końca życia.

We wrześniu 1947 roku Rozalia Szafraniec przeniosła się do Krakowa, gdzie podjęła pracę w Obserwatorium Astronomicznym UJ, równocześnie przygotowując pracę doktorską, którą obroniła w 1950 roku. Od 1951 do 1973 roku piastowała stanowisko adiunkta w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego. Jako astronom specjalizowała się w wizualnych obserwacjach gwiazd zaćmieniowych, była niezwykle wytrwałą i sumienną obserwatką – w latach 1960-tych stała się światową rekordzistką gromadząc prawie 50 tysięcy tego rodzaju obserwacji. Mimo jej niewątpliwych zasług dla nauki i dla Uniwersytetu Jagiellońskiego, władze tej uczelni odmówiły za-

twierdzenia jej habilitacji w 1963 roku, a także wyjazdu do USA w charakterze *visiting professor*.

W czasie pobytu w Krakowie Rozalia Szafraniec mieszkała w budynku dawnego obserwatorium astronomicznego przy ul. Kopernika 27. Tam spotkałem się z nią kilkakrotnie w latach 1997-1998, w trakcie pisania książki o Lubomirze*. Sędziwa „gwiazda Lubomira” barwnie opowiadała o swej pracy w tej placówce oraz udostępniła mi swoje wspomnienia w postaci maszynopisu, które prezentujemy poniżej, z zachowaniem oryginalnej pisowni.

Rozalia Szafraniec zmarła 1 marca 2001 roku w Krakowie i dwa dni później została pochowana w swym rodzinnym Siekiernie.



Autor z Rozalią Szafraniec w Ogrodzie Botanicznym UJ (1998)

* J. Kruk, „Dawne stacje astronomiczne Obserwatorium Krakowskiego na Ziemi Myślenickiej” Biblioteka PTMA, Kraków 1998.

Stacje astronomiczne Lubomir i Oklejna*

Wspomnienia Róży Szafraniec opracowane przez Jacka Kruka
z Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie

Wzmianki w literaturze o Stacjach Lubomir i Oklejna

Pierwsza wzmianka o Stacji Lubomir, położonej najwyższym szczycie góry Łysiny w paśmie Myślenickim, ukazała się w Roczniku Astronomicznym Obserwatorium Krakowskiego, tom I, 1922. Stacja funkcjonowała od czerwca 1922 roku. W następnych tomach Rocznika znajdują się opisy położenia i działalności Stacji. I tak:

- W Roczniku tom II, 1923, str. 79-97 są artykuły T. Banachiewicza i J. Witkowskiego, w których podano cele Stacji, dokonane obserwacje, mapkę położenia, obserwacje zboczenia magnetycznego na Łysinie.

- W Roczniku Astronomicznym tom III, 1924, str. 118-135 są artykuły E. Stenza, dotyczące zachmurzenia, czynników atmosferycznych oraz własności optycznych atmosfery na Łysinie.

- W Roczniku Astronomicznym tom IV, 1925, str. 185-187, T. Banachiewicz pisze o nabyciu Obserwatorium oraz o odkryciu Komety (1925c) Orkisz na Łysinie.

- W Roczniku Astronomicznym tom V, 1928, str. 41 znajduje się artykuł J. Mergentalera – „Impresje z Łysiny”; str. 43-51, T. Olczaka – „Stosunki klimatyczne Łysiny”; str. 116-145. T. Banachiewicz w artykule „Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (1919-1927)” podaje dokładne sprawozdanie z działalności Stacji Narodowego Instytutu Astronomicznego na Łysinie od powstania w 1922 roku do 1927 roku. W tym sprawozdaniu pisze T. Banachiewicz, że pierwszym kierownikiem Stacji, a zarazem głównym jej organizatorem był J. Gadomski do 30 kwietnia 1924 roku. Po nim do września 1927 roku, obowiązki kierownika pełnił L. Orkisz, odznaczony medalem „The Astronomical Society of the Pacific” za odkrycie komety, zaś po nim nastąpił J. Mergentaler. Czasowo bawili na Stacji w celach naukowych między innymi E. Stenz w 1923 roku dla pomiarów promieniowania Słońca oraz T. Olczak w 1927 roku dla pomiarów magnetycznych. W sprawozdaniu tym podaje T. Banachiewicz, że Stacja znajduje się na gruncie i w domku, bezinteresownie jej udzielonymi przez księcia Kazimierza Lubomirskiego. Stacja utrzymywała się głównie z funduszków, asygnowanych przez Wydział Nauki Ministerstwa Oświecenia, po części ze składek amerykańskich.

W następnych latach, począwszy od 1929 roku, były wydawane tylko Dodatki Międzynarodowe do Rocznika Astronomicznego Obserwatorium Krakowskiego. Obejmowały one efemerydy gwiazd zaćmieniowych, tablice

* Oklejna, obecnie nazywana Uklejną, to wzniesienie górujące nad Myślenicami o wysokości 677 m n.p.m. (przyp. - J.K.)

pomocnicze do rachunku arytmometrycznego, przewidywane zakrycia gwiazd przez Księżyc dla 5 miast w Polsce. Te ostatnie momenty obliczane były przez kierowników Stacji Lubomir. Właśnie w Nr 13, 1935 r. Dodatku Międzynarodowego na str. VII jest pierwsza wzmianka, że zakrycia gwiazd przez Księżyc policzyła na Lubomirze (Łysinie) mgr R. Szafrąncówna, oraz dla większości gwiazd Rocznika obliczyła współrzędne na 1940.0. Taka sama wzmianka znajduje się w Roczniku Nr 14, 1936, str. VI.

W Nr 11, 1933, Nr 12, 1934 oraz Nr 13, 1935 Rocznika Astronomicznego, Dodatek Międzynarodowy jest notatka, że obserwacje zostały dokonane na Oklejnej (nowa stacja astronomiczna). Z tych notatek oraz z zapisanych obserwacji w zeszytach archiwalnych Obserwatorium Krakowskiego wynika, że Stacja „Oklejna” była czynna od kwietnia 1932 do końca 1934 roku.

W 1948 roku J. Gadomski wydał „Zarys historii Astronomii Polskiej” – wydawnictwo Polskiej Akademii Umiejętności. Rozdział X poświęca Gadomski Astronomii w Polsce w latach 1918–1939. Na stronie 26 pisze: „założono w 1922 r. górską Stację Astronomiczną na szczycie Łysiny (912 m n.p.m.) w Beskidach (dla której Ks. K. Lubomirski ofiarował 10-hektarowy szczyt góry), czynnej przez 22 lat, oprócz systematycznych badań klimatycznych, dla których materiały obserwacyjne spłonęły w r. 1944, szereg astronomów (J. Gadomski, Lucjan Orkisz, J. Mergentaler, W. Tęcza i inni) dokonuje licznych obserwacji gwiazd zaćmieniowych. Tutaj to odkryto pierwszą polską kometę Orkisz (1925 I) oraz kometę Kaho-Kozik-Lis (1936b)”. To wszystko, co napisał Gadomski o Lubomirze za cały okres istnienia Stacji. O Oklejnej nie ma wzmianki.

Dopiero w 1964 roku E. Rybka ogłosił „Zarys historii astronomii w Uniwersytecie Jagiellońskim” w wydawnictwie „Studia z dziejów katedr Wydziału Matematyki, Fizyki, Chemii Uniw. Jagiellońskiego”. Niestety i tutaj dane o Stacji Lubomir są niekompletne, a o Stacji Oklejna nie ma żadnej wzmianki.

Stacja Lubomir w 1934 roku

Stacja Lubomir została założona w 1922 roku przez prof. dr T. Banachiewicza, dyrektora Obserwatorium Astronomicznego Krakowskiego. Stacja była położona na szczycie góry Łysina ($h = 912 \text{ m}^*$; $\lambda = -1^{\text{h}}20^{\text{m}}15^{\text{s}}.1$; $\varphi = +49^{\circ}46'05''$), w paśmie Myślenicko-Limanowskim.

Księżę K. Lubomirski oddał na własność Obserwatorium 10 ha lasu na szczycie góry Łysina i od nazwiska ofiarodawcy pochodzi nazwa stacji Lubomir. Nazwa ta później znalazła się na mapach geograficznych oraz w spisach stacji astronomicznych. W Małej Encyklopedii Powszechnej PWN, wydanej w 1959 roku jest wymieniony Lubomir, natomiast nie ma Łysiny.

Dnia 1 kwietnia 1934 roku znalazłam się na Lubomirze, jako obserwator. Opiszę urządzenie stacji i obowiązki obserwatora w tym czasie.

* wg pomiarów współczesnych $h = 904 \text{ m n.p.m.}$ (przyp. - J.K.)



Rozalia Szafranec na Lubomirze.

Na szczycie góry na małej polance, otoczonej lasem, znajdował się domek drewniany o 4 izbach i małym pokoiku na poddaszu. Jeden pokój (pracownia) był wyposażony w niewielką bibliotekę, chronometr, odbiornik radiowy na akumulatory (nie było prądu), arytmometr, biurko, stół, krzesła. Drugi pokój z łóżkiem, stołem i krzesłem – był pokojem mieszkalnym obserwatora. Sień oddzielała trzecie i czwarte pomieszczenie, z których jeden pokój zajmował pomocnik obserwatora – Władysław Lis, czwarte pomieszczenie – kuchnię – Katarzyna Lis, siostra wyżej wymienionego, która prowadziła gospodarstwo.

Władysław Lis był na Lubomirze prawie od samego początku założenia stacji, aż do jej spalenia. Sam swoje wspomnienia obiecał napisać.

Prócz domku mieszkalnego stał na polanie pawilonik obserwacyjny, zrobiony z drzewa z otwierającym się na zewnątrz dachem. Mieściły się w nim dwie lunety: refraktor Merz o średnicy obiektywu $D = 116$ mm i ogniskowej $f = 199$ cm oraz Fraunhofer ($D = 76$ mm, $f = 67$ cm). Była jeszcze duża lornetka Zeissa – szukacz komet ($D = 80$ mm, $f = 50$ cm), która służyła do szukania komet i obserwacji jasnych gwiazd z pomocą lornetki, wystawionej obok pawilonu na wysokich słupach tak, aby można było obserwować niebo blisko horyzontu. Na polanie stała też budka z instrumentami meteorologicznymi i deszczomierz. Był też murowany słupek dla ustawienia refraktora ekspedycyjnego ($D = 203$ mm, $f = 227$ cm).



Pierwszy pawilon obserwacyjny na Lubomirze z otwartym dachem.

Na Lubomirze dokonywano obserwacji gwiazd zmiennych metodą ocen wizualnych, obserwowano momenty zakryć gwiazd przez Księżyc, szukano komet oraz prowadzono regularne obserwacje meteorologiczne i regularne zachmurzenie nieba o godz. 1-ej w nocy.

Wszystkie obserwacje gwiazd zaćmieniowych, dokonane na Lubomirze przez obserwatorów, przez dłuższe lub krótsze okresy tam przebywających, zostały opracowane przez R. Szafraniec i wydrukowane w czterech częściach w latach 1959–1963 w *Acta Astronomica Supplementa* Nos. 3, 4, 5, 6. Dzienniki z obserwacjami meteorologicznymi znajdują się w archiwum Obserwatorium Krakowskiego, częściowo wykorzystywane w publikowanych pracach.

Szukanie komet było uwieńczone odkryciem 2 komet. Pierwsza kometa odkryta 3.IV.1925 roku przez Lucjana Orkisz, jako pierwsza polska kometa (1925c) dodała rozgłosu Stacji. Druga kometa (1936b) odkryta została przez Władysława Lisa 17.VII.1936 roku, który już w 1935 roku, za mojego pobytu

na Lubomirze, systematycznie szukał komet. Praca została uwieńczona sukcesem.

Obserwatorami na Lubomirze byli czasowo tam przebywający pracownicy Obserwatorium Krakowskiego: Jan Gadomski (1922–1924), Lucjan Orkisz (1924–1927), Jan Mergentaler (1927–1933). Dalej Rozalia Szafraniec (1.IV.1934 – 1.X.1935), Maria Makowiecka (X.1935 – IX.1936) i Władysław Tęcza (1936–1944) z przerwami w latach 1941, 1942, 1943, co wynika z zapisanych obserwacji. W pewnych dłuższych okresach w latach okupacji hitlerowskiej przebywał na Lubomirze Fryderyk Koebcke.

Środki na utrzymanie Stacji Lubomir Narodowego Instytutu Astronomicznego im. M. Kopernika były skromne, a uzyskiwane z Wydziału Nauki Ministerstwa WRiOP. Toteż wynagrodzenie za pracę obserwatora było w ramach wynagrodzenia młodszego asystenta na Uniwersytecie.

Przypadek

Pobyty mój na Lubomirze był kwestią przypadku. Ten specjalny okres w życiu moim wpłynął niewątpliwie na dalszy kierunek mojej pracy.

W lutym 1934 roku uzyskałam stopień magistra matematyki na Uniwersytecie w Warszawie i do końca roku akademickiego właściwie nie miałam stałego zajęcia. Na studiach utrzymywałam się udzielając korepetycji.

Wtedy to prof. T. Banachiewicz poszukiwał studenta matematyki na zastępstwo obserwatora na Lubomirze. Moja koleżanka ze studiów, Jadwiga Gałęcka, do której zwrócił się profesor, jako dawnej znajomej, dała ogłoszenie w Instytucie Matematycznym o wolnym miejscu obserwatora (chodziło o mężczyznę) na Stacji Lubomir. Żaden jednak z naszych kolegów matematyków nie chciał jechać aż gdzieś tam za Kraków. Stąd Jadzia była w kłopotach, bo profesor będzie niezadowolony i na pewno powie: narzeka się na brak pracy, a jak jest praca, to nie ma kandydata. Aby koleżanka miała jakiś wybieg, poradziłam jej, aby zaproponowała profesorowi koleżankę chętną na wyjazd, bo żaden kolega się nie zgłosił. Po prostu myślałyśmy, że profesor nie będzie się chciał zgodzić na płęć żeńską.

Tymczasem prof. Banachiewicz po egzaminie, czy się nie boję? zdecydował, że mam przyjechać do Krakowa do Obserwatorium, skąd sam wraz z żoną odwieźli mnie samochodem na Lubomir. Przez parę dni swego pobytu na Lubomirze profesor zaznajomił mnie z obowiązkami obserwatora.

Już pierwszej zaraz nocy nie wyszłam o godz. 1-ej na obserwację zachmurzenia nocnego nieba. Na drugi dzień profesor posądzał mnie, że bałam się wyjść w nocy na polanę. Wyjaśniłam mu, że po prostu zasnęłam, bo byłam zmęczona całodzienną podróżą z Warszawy do Krakowa i do Wiśniówki* i jeszcze wyjście na górę. Tak zostałam obserwatorem na Stacji Lubomir z umową na 3-miesięczne zastępstwo.

* autorka ma na myśli Wiśniową (przyp. J.K.)

Praca i cienie

Do moich obowiązków obserwatora na Lubomirze należało wykonywanie trzy razy dziennie obserwacji meteorologicznych plus obserwowanie nocnego zachmurzenia nieba, co najmniej 3 godziny dziennie, wykonywanie pracy rachunkowej – liczyłam momenty zakryć gwiazd przez Księżyc do Rocznika Krakowskiego. Nadto, dokonywanie obserwacji gwiazd w pogodne noce i oczywiście odbieranie sygnałów czasu dla systematycznego wyznaczania poprawki chronometru. Jakoś sobie radziłam, w wypadkach wątpliwości listownie porozumiewałam się z profesorem Banachiewiczem, który przysyłał wyjaśnienia lub pouczenia.

Pracownicy Obserwatorium Krakowskiego byli przekonani, że na Lubomirze jest mężczyzna, bo profesor Banachiewicz zakomunikował, że pracuje tam mgr Szafraniec. Tajemnica się wydała, gdy przyjechałam do Obserwatorium dla naładowania akumulatorów. Inż. Rodkiewicz i inż. Jasnorzewski, których najpierw spotkałam, nie dowierzali mi, że ja jestem na Lubomirze – mówili: „Przecież tam jest pan Szafraniec”.

Widocznie jednak kobiety nie gorzej pracowały niż mężczyźni, bo po trzech miesiącach pracy profesor Banachiewicz usilnie namawiał mię na pozostanie dalsze, wysuwając jako powód – dobro nauki. Ponieważ nie było innego kandydata, więc dla dobra nauki poświęciłam się zostać na Lubomirze, ale nie dłużej niż jeden rok. Z tej racji na sierpień 1934 roku miałam jechać do Krakowa, aby pod kierunkiem dr Kordylewskiego (o którym profesor Banachiewicz mówił wtedy do mnie – „to była gwiazda pierwszej wielkości, dopóki się nie ożenił”) nauczyć się obserwować gwiazdy zaćmieniowe i zapoznać się z metodami opracowań obserwacji.

Nastąpił termin wyjazdu do Krakowa. Opiszę to szczegółowiej, bo zdarzyły się wypadki, które wpłynęły na dalsze stosunki. Na wiosnę 1934 roku była w tamtej okolicy duża powódź – wylała Raba. Oczywiście małe górskie potoczki były wtedy wielkimi rzekami. Po ustąpieniu powodzi na drogach pozostało dużo naniesionych kamieni i drogi były trudno przejezdne.

Pamiętam, że profesor Banachiewicz przyjechał z Krakowa wraz z Lidią Stankiewiczówną, studentką astronomii, która miała zostać na Lubomirze w zastępstwie za mnie, a ja następnego dnia miałam jechać z profesorem do Krakowa. Był taki gajowy Jasiewicz, który jeździł wołkami i jego zawsze profesor zamawiał, gdy trzeba było przewieźć bagaż ze stacji kolejowej Kasina Wielka na Lubomir. Profesor Banachiewicz zabierał rower i tę drogę jechał na rowerze. A ja miałam „ubaw” wjazdem Stankiewiczówny wozem, ciągniętym przez wołki. (...)

Wyjazd do Krakowa miał nastąpić następnego dnia, ale ja zapowiedziałam profesorowi, że wołkami nie pojedę do stacji kolejowej, bo nie chcę się we wsi ośmieszać. Mogę iść pieszo, a rzeczy przewiezie Jasiewicz wołkami. Na to moje oświadczenie profesor zdecydował, abym zamówiła konie. Jechałam końmi, powoził Lis. Profesor Banachiewicz jechał za nami na rowerze.

W pewnym miejscu na drodze profesor podjechał do wozu z prawej strony i jakby chciał przytrzymać się lewą ręką wasagu. W tym momencie stracił równowagę i wyrzucił się do rowu. Profesor stłukł sobie kolano o kamień, których było dosyć po powodzi, musiał więc siadać na wóz, na który załadowaliśmy rower z zepsutym hamulcem. Profesor był na mnie zły. Powiedział tylko jedno zdanie: „Gdyby Jasiewicz jechał, to by się to nie stało”. Na to ja: „Gdyby Jasiewicz jechał, mogło się gorzej stać”. Po takiej dyskusji milcząco dojechaliśmy do stacji kolejowej Mszana. Radziłam zaraz przyłożenie kompresu z zimnej wody, ale profesor nie chciał. Dojechaliśmy do Krakowa dobrze. Może wszystko byłoby przeszło, ale profesor następnego dnia po przyjeździe oprowadzał po Obserwatorium panią St. Bartnicką, sforsował nogę i w końcu położył się, bo stwierdzono skrzep w nodze. Parę miesięcy leżał w łóżku, a do mnie wszyscy mieli pretensje – głównie żona profesora – że spowodowałam chorobę. Dopiero po wojnie, gdy w 1947 roku znalazłam się znów w Obserwatorium Krakowskim, profesor Banachiewicz powiedział przy jakiejś rozmowie, że nie ma do mnie pretensji o te konie, bo lekarze stwierdzili, że jakiegokolwiek inne uderzenie mogło wywołać skrzep. To był wówczas pierwszy cień w stosunkach z profesorem.

Odbyłam szkolenie obserwacyjne przez sierpień 1934 roku w Obserwatorium Krakowskim. Dr K. Kordylewski umiejętnie kształcił mnie w dokonywaniu obserwacji, obserwując równocześnie ze mną gwiazdy zaćmieniowe. Na moje krytyczne uwagi dotyczące dokładności metody wizualnej obserwacji, jak i wyznaczania minimów „metodą kalkową”, odpowiadał: „Proszę się przekonać samej”. Istotnie później przekonałam się, że prostota metody wcale nie zmniejsza dokładności. Nawet zapaliłam się do obserwacji i po powrocie na Lubomir przez rok tam pobytu dokonałam 1474 obserwacje gwiazd zaćmieniowych, wykonując oczywiście za dnia obowiązujące prace.

Ale jeszcze jedno zdarzenie w czasie mojego pobytu na Lubomirze wpłynęło na opinię profesora Banachiewicza o mojej tam pracy. 12 marca 1935 roku spadł pod Łowiczem meteor, którego przelot w postaci świecącej kuli był widoczny w całej Polsce. Tak się zdarzyło, że przelotu meteoru nie widziałam, mimo tego, że w tym dniu dokonywałam na Lubomirze obserwacji gwiazd. Na Lubomirze było wtedy -15°C mrozu. Co pewien czas przerywałam obserwacje, aby zagrzać się w domu i nieszczęśliwie w tym czasie meteor przeleciał i nie widziałam. Profesor Banachiewicz oczywiście zaraz napisał, abym podała sprawozdanie z obserwacji przelotu meteoru. Równocześnie otrzymałam z domu od brata wiadomość z podaniem dokładnego czasu i kierunku przelotu meteoru, bo tam w Siekiernie widziano całe zjawisko. Odpisałam profesorowi oczywiście, że nie widziałam przelotu na Lubomirze. W tej sprawie miałam jeszcze kilka korespondencji z pytaniami, w jakich godzinach obserwowałam, w jakim czasie byłam w domu i w końcu, abym podała dokładnie dokonane tego wieczoru obserwacje.

Zdenerwowała mnie nieufność profesora i napisałam wtedy ostry list (nie zachował się w archiwum) w sensie, że gdybym chciała kłamać, to miałam dane

o przelocie meteoru i mogłam wiadomości wysłać, oraz, że nie angażuje się pracownika, do którego nie ma się zaufania. Również było zdanie, że trudno wymagać, abym widziała wszystkie przelatujące meteory. Z tej racji do tej pory krąży w Obserwatorium opowieść dr K. Koziela o mnie, że na Lubomirze była taka pani, co nawet profesora Banachiewicza się nie bała i zażądała „efemerydy”, to będzie obserwowała przelatujące meteory. Nawiasem mówiąc, żaden z obserwatorów w Obserwatorium Krakowskim też nie widział przelotu tego meteoru, ale profesorowi Banachiewiczowi zależało na rozgłosie Stacji Lubomir i stąd ta do mnie pretensja. Profesor powiedział po moim odejściu z Lubomiru w 1935 roku: „To była dobra obserwatorka, ale meteoru nie widziała”.

Samotnia Lubomirska

Korespondencja to łączność ze światem. Szkoda, że nie zachowała się ta korespondencja Lubomir – Kraków. Było tam dużo charakterystycznych uwag i wypowiedzi. Na przykład, przypominam sobie pisma w sprawie kupna psa. Były wśród nich kartki, pisane przez profesora w obcym języku – chyba francuskim, bo ten znałam. A może angielskim – teraz już nie pamiętam. Koniec końcem skończyło się na korespondencji – psa się nie kupiło.

Stacja, położona na szczycie Łysiny, była odosobnioną pustelnią, otoczoną lasem. Najbliższa wieś u południowego stoku góry - Wiśniówka* odległa była o około 2 km. Wydawało mi się, że pies przydałby się dla bezpieczeństwa. Nie był jednak konieczny. Obserwator miał zezwolenie na posiadanie rewolweru, ale nie było potrzeby korzystania z niego. Nocą nikt na szczyt nie przychodził, czasem tylko było słycać dalekie śpiewy. Wycieczki turystyczne odwiedzały nas rzadko, nie był wytyczony wówczas szlak turystyczny przez Lubomir. Przypadkowe tylko grupy wycieczkowe odwiedzały Lubomir. Oglądali Stację, wpisywali rymy do książki pamiątkowej i wędrowali dalej. Były to jednak rzadkie wycieczki, jak i nieczęste były inne odwiedziny.

Przez półtoraroczny okres mojego tam pobytu odwiedzili mnie: matka, raz jeden wstąpił brat przejazdem na jeden dzień, a na święta Bożego Narodzenia przyjechała koleżanka, aby pojeździć na nartach.

Śnieg tego roku był wspaniały. Od Wszystkich Świętych 1934 r. do Wielkiej Nocy 1935 r. można było uprawiać sport narciarski. Tam po raz pierwszy zaczęłam uprawiać „białe szaleństwo”, nie jeden raz na początku jazdy lądując pod smrekami, zasypana śniegiem. W zimie była półtorametrowa pokrywa śniegu. Kasia – służąca, nie jeżdżąca na nartach, przez 3 miesiące nie mogła zejść do wsi, ani do kościoła. Śnieg uwięził ją na Lubomirze.

A ja „hasałam” na nartach, ale z tej racji znalazłam się na „czarnej” liście. Do kościoła w niedzielę zjeżdżałam też na nartach, oczywiście w spodniach. Stąd, ani księdzu proboszczowi, ani parafianom nie przypadło to do gustu

* patrz przypis na s. 127

i zaczęły się rozchodzić uwagi, że kierowniczką Stacji sieje zgorszenie, wchodząc do kościoła w spodniach. Ksiądz, aby mi pokazać, że można jeździć w spódnicy, sam jeździł na nartach w sutannie. Ale te jazdy odbywał po równej drodze. Nie przekonał mnie, bo ja z góry i pod górę musiałam się zawsze windować.

Zresztą wtedy miałam 24 lata, pełna energii i zapału robiłam to, co sama uważałam za dobre, a wydawało mi się, że potrafię „świat do góry nogami wywrócić”. Nie dopełniłam też formy grzecznościowej przedstawienia się księdzu proboszczowi, jako nowa parafianka z Lubomiru. Ksiądz czuł się urażony, a ja nie widziałam potrzeby prezentowania się.

Buk czy dąb?

W pewnej odległości od Stacji znajdowała się polana zwana „Długą Polaną”. Na jej środku rósł rozłożysty duży buk. Zdjęcie tego buka (obok stoi żona profesora), wykonał profesor Banachiewicz i kartki takie wysyłał do znajomych za granicę. Będąc na Lubomirze, w czasie mojego tam pobytu, profesor pokazał mi to zdjęcie i powiedział, że to wspaniały okaz dębu, rosnącego na Długiej Polanie. Ja znałam las dobrze, więc oczywiście zaprzeczyłam, że to nie dąb tylko buk. W trójkę profesor z żoną i ja wybraliśmy się sprawdzić. Całą drogę bawiłam się pytaniem: dąb czy buk? Oczywiście ja miałam rację, bo zresztą na tej wysokości dęby nie rosną.

Całe jedno zbocze góry było zarośnięte dużymi, starymi bukami. Cóż to było za piękne zbocze! Od wiosny do jesieni zmiana barwy przez wszystkie odcienie zieleni, złota i brązu. Na polanę, obok tego zbocza, wychodziły paść się sarny. Często o świcie po obserwacjach nocnych chodziłam na podpatrywanie pasącego się i harcującego stada i oglądanie zmieniającego barwy zbocza buków. Takie były zabawy, spory w one lata wśród cichej Stacji Lubomir.

Gospodarowanie

A życie na Stacji nie było łatwe. Trudne warunki pracy, trudne warunki bytowania, trudna aprowizacja żywności, bo dojazd na górę tylko furmanką i tylko, dopóki śnieg nie zasypał drogi. Później w zimie żywność wynosiło się na górę w plecakach. Należało przed zimą zaopatrzyć się w najpotrzebniejsze zapasy żywnościowe: ziemniaki, mąkę, wędliny.

W lecie i jesieni żyliśmy częściowo ze zdobyczy leśnych, jak grzyby, maliny, jeżyny. Nie wymieniam innych, bo te specjalnie utkwiły mi w pamięci. Nigdy już później nie zbierałam takich malin, jak na sąsiednim wzgórzu, zwanym Kamiennikiem i nigdy też nie widziałam takich jeżyn, jak na północnym zboczu Lubomiru. To były olbrzymie czarne owoce w dużych gronach, a ile tego było!

Należało też przygotować drzewo na opał na całe 4 miesiące zimy. Zima 1934/1935 była długa, ostra i śnieżna.

Wizyty

Wizyty profesora Banachiewicza na Lubomirze zdarzały się rzadko. Związane były z planowanym zainstalowaniem nowej lunety lub innego instrumentu obserwacyjnego, a także z załatwianiem spraw gospodarki lasem – własności Narodowego Instytutu Astronomicznego. W czasie mojego pobytu na Lubomirze profesor Banachiewicz odwiedzał Lubomir nie w okresie zimowym. Od stacji kolejowej do podnóża Łysiny jechał rowerem. Na szczyt góry wychodził pieszo. Tak samo odbywał drogę powrotną.

Zwykle po obiedzie profesor szedł do lasu, spacerował lub odpoczywał na pieńku, aby po powrocie do pracowni zająć się pracą naukową. Ulubioną potrawą na kolację było zsiadłe mleko – o tym powszechnie fama głosiła. Zdarzyło się tak, że po paru miesiącach mojego tam pobytu, profesor wybrał się na Lubomir bez zawiadomienia mnie wcześniej o przyjeździe. Napisał kartkę do gajowego Jasiewicza, aby wyjechał wołkami do Kasiny Wielkiej.

Jasiewicz („panocku”) przyszedł na Stację do mnie z tą kartką i zapytaniem, co ma robić? Oczywiście jechać – powiedziałam, bo tak profesor pisze. Ale za brak zaufania profesora do mnie postanowiłam się zemścić. Mleka kwaśnego nie było! Oświadczyłam profesorowi, że nie przygotowałam, bo nie byłam uprzedzona o przyjeździe.

Ciekawe zjawiska i wydarzenia

Ten niedługi 1,5–roczny pobyt na Lubomirze obfitował w niezwykle wydarzenia. Pierwszym extra zjawiskiem było pojawienie się gwiazdy Nowej. Była to Nova Herculis (1934) = DQ Her. Takie oznaczenia otrzymują gwiazdy nowe z dodaniem nazwy gwiazdozbioru i roku rozbłysku. Zjawisko bowiem nowej gwiazdy polega na nagłym znacznym pojaśnieniu słabej gwiazdy o 10-15 wielkości gwiazdowej. Pojaśnienie DQ Her wynosiło 12 wielkości gwiazdowych. Obserwowałam tę gwiazdę wizualnie wraz z programowanymi innymi gwiazdami.

Drugim rzadko obserwowanym wydarzeniem był przelot jasnego meteoru w dniu 12 marca 1935 roku. Spadł pod Łowiczem, zasypując powierzchnię około 2 km² odłamkami różnych rozmiarów. Ogółem liczy się, że spadło około 60 kg odłamków. Przelotu właśnie tego meteoru nie zaobserwowałam na Lubomirze (opis wcześniej podany), co wywołało niezadowolenie profesora Banachiewicza i późniejszą opinię „a jednak meteoru nie widziała”.

Następne zjawiska, które wydarzyły się, nie są natury astronomicznej. Były dla mnie tak niezwykle, że zachowały się do tej pory w pamięci. Pewnego pięknego słonecznego dnia usłyszeliśmy olbrzymi huk podobny do grzmotu. Oczywiście razem z Lisem pobiegliśmy w tym kierunku. Góra Kamiennik niższa od Łysiny, ale ciągnąca się prawie równolegle do Łysiny, była oddzielona dość wąską dolinką*. Doliną szła droga leśna i stał tam mały drewniany

* Kamiennik (827 m n.p.m.) oddziela od pasma Łysiny przełęcz Sucha (przyp. – J.K.)

domek-gajówka. Odległość od Lubomiru wynosiła około 2 km. Otóż, co zobaczyliśmy po przebyciu tej drogi. Kamiennik jakby „pękł” w poprzek góry i pas dość szeroki ziemi pomieszanej z wywalonymi drzewami – taka lawina – zsunął się po zboczu, zatrzymując się tuż przy gajówce. Domek stał cały. Nigdy później w życiu takiego zjawiska nie widziałam.**

Nigdy też później nie widziałam takiej powodzi, jaka została spowodowana wylewem Raby z wiosną 1934 roku. Poszłam z Lubomiru w okolice Pcimia, aby zobaczyć wylew Raby. Szedł ze mną Wł. Lis, który prowadził znanymi sobie krótszymi drogami. Niemniej trzeba było ciągle przechodzić w bród przez strumienie spływającej z górki wody, które stały się rzeczkami o ostrym prądzie. Deszcz wtedy padał trzy dni bez przerwy. Niesamowity widok przedstawiała Raba, która w normalnych warunkach w tej okolicy Pcimia jest do przejścia po kamieniach bez zamoczenia nóg. Woda sięga normalnie do kostek. W czasie wylewu była to rzeka szeroka od jednego do drugiego wzgórza – szerokości Wisły pod Warszawą, tylko o dużo silniejszym prądzie. Z wodą płynęły drzewa, zabrane domy, woda była mętna, ciemna, brzydka. Nie byłam strachliwa, ale patrząc wtedy na wodę mimo woli odsuwałam się dalej od brzegu. Widziałam, jak duże świerki, rosnące na wzgórzach, coraz to waliły się i płynęły, woda wszystko pochłaniała. Wrażenie ogromu żywiołu i niemoc reakcji wbiła mi się głęboko w pamięć. Wróciłam na Lubomir boso, bo buty rozmokły i rozleciały się.

Stacja Oklejna

Stacja Oklejna – to pawilon z lunetą ustawiony na wzgórzu w paśmie Myślenickim, między Myślenicami i Lubomirem. Pawilon postawiony na kilku drzewach o ściętych wierzchołkach, dość wysoko ponad gruntem 7-8 m. Dach pawilonu otwierał się podobnie, jak na Lubomirze. Wokół pawilonu był ganek z poręczami. Wychodziło się po schodach z poręczami podobnej konstrukcji, jak spotykało się kładki nad rzekami. (...) Były robione fotografie tej placówki przez profesora Banachiewicza i w formie widokówek wysyłane za granicę. Stefan Szczyrbak, główny obserwator na stacji Oklejna (po wojnie osiedlił się w Anglii), nie posiada też żadnego zdjęcia tej placówki.

Dosłownie przepisuję wiadomości o Oklejnii podane przez S. Szczyrbaka w liście z 1974 roku: „Dr K. Kordylewski był głównym aktorem i pertraktorem z Myślenicami i panem Hołujem*** w założeniu stacji Oklejna. A pasztet zajęczy i wiśniówka zawsze gościnnego pana Hołuja, były wyśmienite. Docent jadł pasztet, ja piłam wiśniówkę. Głównym celem Oklejny było badanie warunków atmosferycznych i porównanie z Lubomirem dla powzięcia decyzji ewentualnego zbudowania Narodowego Obserwatorium Astronomicznego.

** osunięcia ziemi w rejonie Lubomira nie należą do rzadkości, w maju 2010 roku osunięcie zniszczyło drogę dojazdową do obserwatorium (przyp. – J.K.)

*** Jan Hołuj – znany architekt myślenicki (przyp. – J.K.)

Tylko jedna luneta Zeiss-Heyde ($D = 109$ mm, $f = 187$ cm) była na Oklejnii, która doskonale nadawała się do obserwacji „obrazów gwiazd”.



Pawilon obserwacyjny na Oklejnii.

Gdy dłuższa pogoda zapowiadała się, jechało się czasem do Myślenic, potem pieszo na górę, głównie obserwować krążki (pierścienie) dyfrakcyjne gwiazd i ich zmiany, gwiazdy zmienne i nawet szukanie komet. Po dłuższym czasie i praktyce obserwacji „obrazów gwiazd” zmianę pogody można było przewidzieć do 2 dni naprzód. Wracając raz po nocy z góry spotkałem w polu starego doświadczonego pana Słowika (coś 90 lat) i w rozmowie, on stary znawca przewidywał pogodę z widoku gór na parę dni wcześniej. Nie wierzył mojej przepowiedni właśnie z „obrazów gwiazd” ubiegłej nocy, że deszcz będzie na drugi dzień. Tym razem ten zacny góral się pomylił – czy góry go pomyliły? Takie wyjazdy i samotne noce zawsze działały odświeżająco”.

Z zapisków obserwacji gwiazd zmiennych zaćmieniowych w zeszytach archiwalnych Obserwatorium Astronomicznego Krakowskiego wynika, że Stacja na Oklejnii była czynna od kwietnia 1932 roku* do końca roku 1934.

* w późniejszym liście do autorki Stefan Szczyrbak sprostował: „Obserwacje rozpocząłem już w marcu 1931 roku” (przyp. – J.K.)

Były w tym czasie dokonywane obserwacje na Oklejnii przez S. Szczyrbaka, a we wrześniu 1933 roku również przez J. Piegzę. Po roku 1934 nie prowadzono dalszych obserwacji na Oklejnii, luneta została przeniesiona do Obserwatorium, a pawilon uległ z czasem zniszczeniu.

Epilog

Stacja Lubomir została spalona przez Niemców 15.IX.1944 r. Po wojnie 1.IX.1947 roku zostałam zaangażowana przez profesora T. Banachiewicza do pracy w Obserwatorium Astronomicznym UJ, początkowo w charakterze starszego asystenta, a od 1.I.1951 roku w charakterze adiunkta. Profesor Banachiewicz zastanawiał się, czy nie odbudować stacji na Lubomirze. Rozmawiał też ze mną, pytając o zdanie w tej sprawie. Moim zdaniem, należałoby wcześniej postarać się o przeprowadzenie prądu na górę i zrobienie drogi dojazdowej na szczyt. To byłyby dwa warunki konieczne, aby myśleć o postawieniu pawilonu obserwacyjnego i domu mieszkalnego, co umożliwiłoby utrzymanie ciągłych obserwacji na tej placówce.

Duży koszt i trudności powojenne uniemożliwiły odbudowanie obserwatorium na Lubomirze. Profesor Banachiewicz poszukiwał miejsca położonego bliżej Krakowa i wybór padł na Fort Skała.

Nikt z Obserwatorium Krakowskiego nie interesował się dalej Lubomirem. Ale zanim nadleśnictwo Pcim przejęło 10 ha lasu na Lubomirze, własność Narodowego Instytutu Astronomicznego (wszystkie lasy później przeszły na własność Państwa), znalazł się człowiek, mianowicie inż. Władysław Kucharski – ówczesny prezes Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii, który zainteresował się, ale nie odbudową Stacji, tylko bukami w lesie Lubomirskim. Prywatnie sprzedawał buki z lasu na Lubomirze. Chłopi z Węglówki (wieś u stóp Lubomiru) zwracali się do W. Lisa o protekcję do Kucharskiego, aby kupić drzewo. Pieniądze ze sprzedaży buków na Lubomirze nie wpłynęły na konto Towarzystwa – wiem, bo byłam w tym czasie skarbnikiem PTMA.

Później dopiero stało się jasne dla mnie, kim był W. Kucharski – po przeczytaniu artykułu red. Adama Teneta w Dzienniku Polskim z 18.V.1962 roku. To właśnie inż. W. Kucharski, jako były minister skarbu za Witosa, sprzedał Żyrardów Francuzom – państwo Polskie straciło na tej transakcji olbrzymią kwotę pieniędzy. Przy okazji 100-lecia urodzin Witosa znów przez radio słyszałam o W. Kucharskim, który sprzedał Zakłady Żyrardowskie Francuzom. Referujący powiedział, że nikt tylko nie wie, jaka suma wpłynęła wówczas do prywatnej kieszeni Kucharskiego.

Z dawnej stacji Lubomir została tylko nazwa. Polana na szczycie, tak jak i cały stok góry, zarośnięta jest młodymi drzewami. Stacje Lubomir i Oklejna zostaną tylko we wspomnieniach osób, które tam przebywały.

Kraków, listopad 1974 r.

W charakterze uzupełnienia (Jacek Kruk)

Przepowiednia Rozalii Szafraniec nie sprawdziła się, przynajmniej w stosunku do Lubomira. Obserwatorium zostało odbudowane w 2007 roku, głównie dzięki staraniom ówczesnego wójta gminy Wiśniowa Juliana Murzyna. Środowisko astronomiczne doceniło wielką pasję i wytrwałość wójta w realizacji tej szczytnej idei i nagrodziło go w roku 2009 zaszczytnym wyróżnieniem w postaci Medalu im. Włodzimierza Zonna.

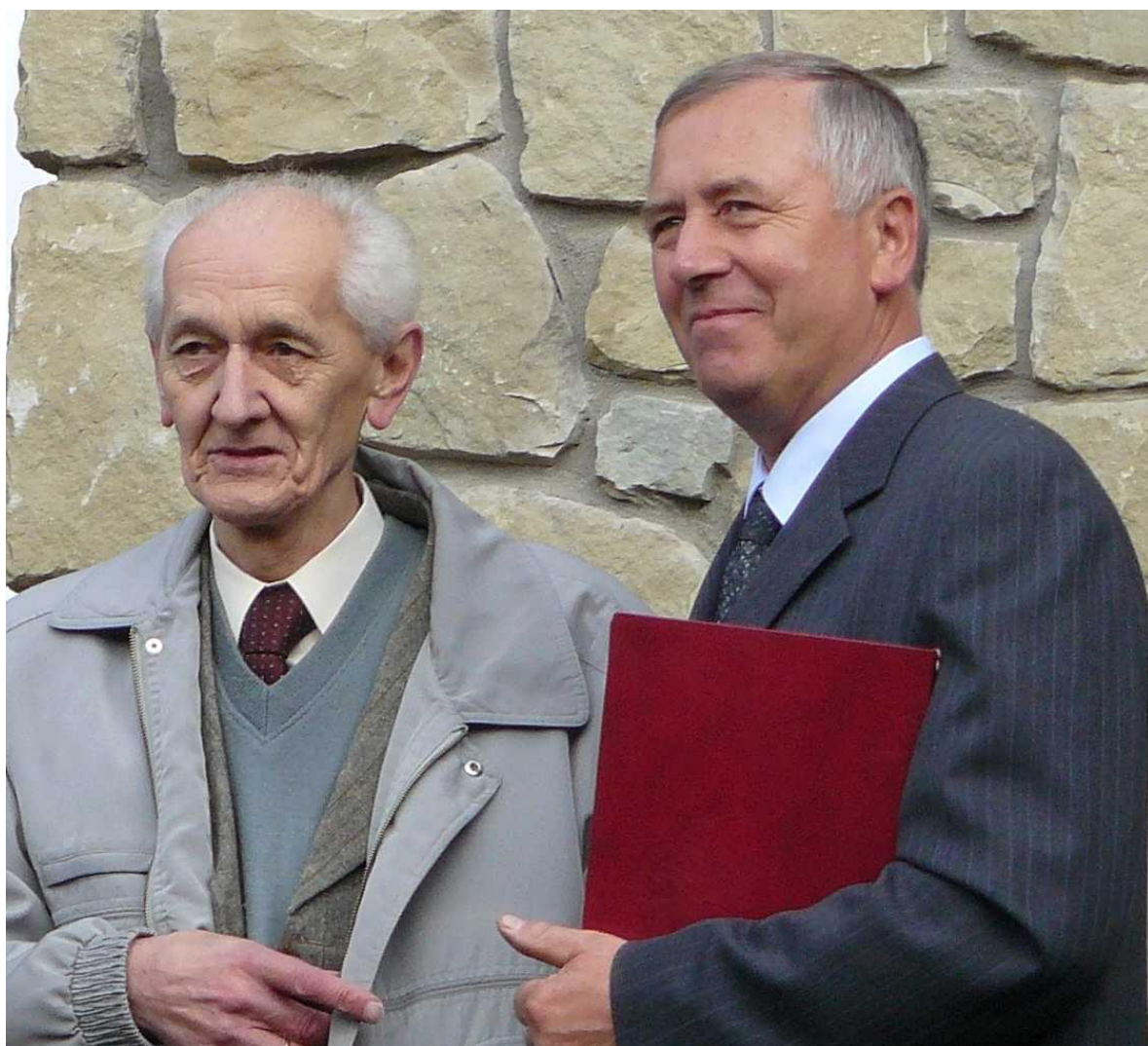
Na szczycie Lubomira, na niewielkiej polance, która jeszcze nie zarosła młodym lasem, postawiono dwukondygnacyjny budynek zwieńczony dwiema białymi kopułami. Elewacja z miejscowego kamienia zdobi ten obiekt, zaprojektowany przez Wiktora Kielana. Przed budynkiem wystawiono makiety obiektów przedwojennej stacji astronomicznej, zaś z tyłu – w miejscu dawnej gloriety – postawiono drewniany pawilon obserwacyjny, na podobieństwo przedwojennego, choć dach w nim jest rozsuwany, a nie otwierany na dwie strony.



Obserwatorium Lubomir od strony południowej. (fot. J. Kruk)

Jak dowiadujemy się na stronie internetowej obserwatorium@weglowka.pl, placówka prowadzi działalność naukową, dydaktyczną i popularyzatorską. Głównymi instrumentami obserwatorium są teleskopy $D = 350$ mm, $f = 720$ mm (w małej kopule) oraz 17-calowy teleskop PlaneWave, w dużej. Ponadto dysponuje kilkoma przenośnymi teleskopami i lunetami, które wykorzystywane są do wieczornych pokazów nieba lub obserwacji plam słonecznych za dnia.

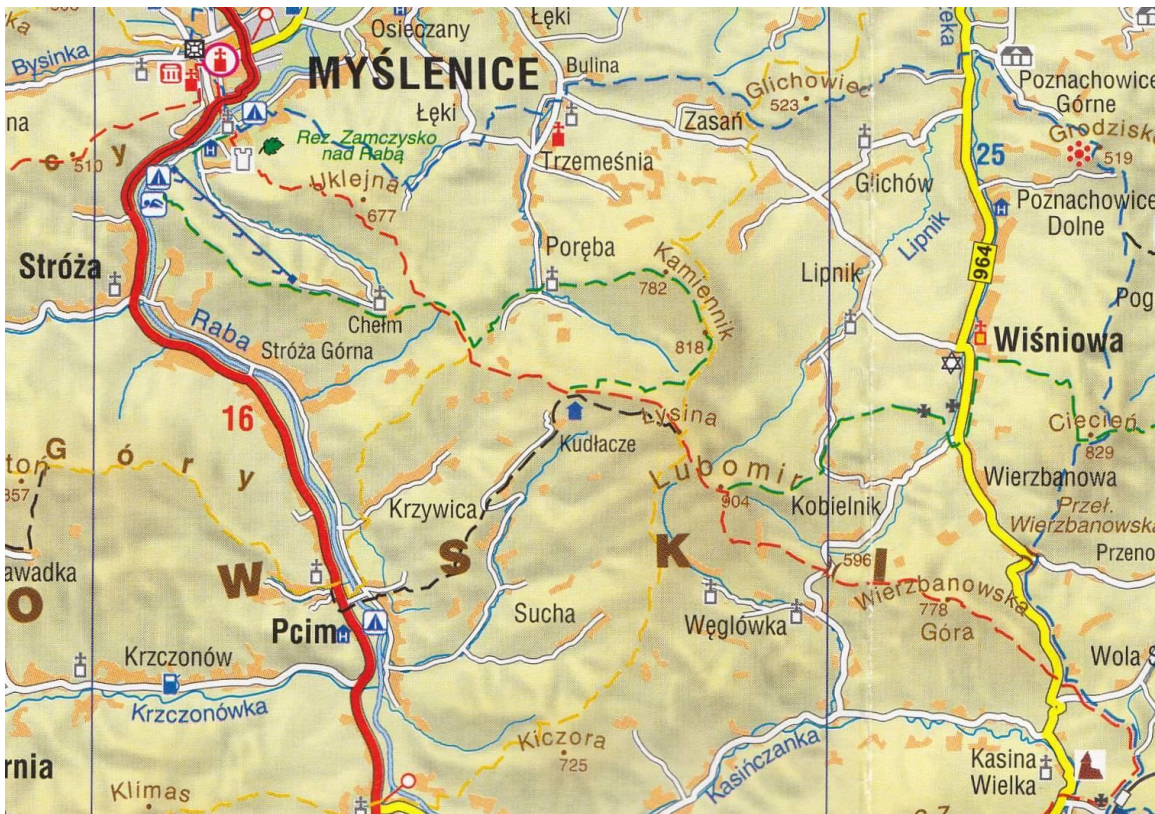
Obserwatorium administrowane jest zespół szkół w Węglówce, jest ono dostępne do zwiedzania (tylko parter) w soboty i niedziele, w pozostałe dni – po uzgodnieniu z władzami szkoły. Dotarcie do obserwatorium nie stanowi najmniejszego problemu. Najkrótsza droga prowadzi z przełęczy Jaworzyce (na drodze między Wiśniową a Węglówką). Na przełęczy należy skrócić w prawo i asfaltową drogą dotrzeć do osiedla Paryłówka. Tu znajduje się parking i początek ścieżki dydaktycznej, która zaprowadzi prosto do obiektu oferując przy okazji tablice informacyjne i ławeczki do odpoczynku. Nawet jeśli nie dostaniemy się do Obserwatorium, jego historię oraz najważniejsze postacie z nim związane – Tadeusza Banachiewicza, Lucjana Orkiszę i Kazimierza Kordylewskiego poznamy dzięki kilkunastu tablicom ścieżki dydaktycznej.



Julian Murzyn (z prawej) i Ludwik Czech (krewny Lucjana Orkiszę, z lewej) podczas otwarcia obserwatorium na Lubomirze (6 października 2007).

Po drodze mijamy niedawno otwarte prywatne schronisko „Gościniec pod Lubomirem”, skąd już ok. pół godziny podejścia na szczyt Lubomira. W rejonie schroniska ostatnia szansa na widoki górskie (łącznie z fragmentem grani Tatr). Z dalszej drogi, ani ze szczytu już żadnych widoków nie będzie. Wejście do Obserwatorium za symboliczną opłatą, należy jednak liczyć się z ter-

minarzem wejść i liczbą oczekujących. Godziny otwarcia w sezonie letnim i zimowym różnią się, dobrze zatem to sprawdzić na stronie internetowej, zanim wyruszymy na trasę.



Mapka okolic Lubomira i Uklejny.
(wg *Mapa turystyczna Województwa Małopolskiego, Compass, Kraków 2006*)



Niemal idealnie na wschód (azymut $89^{\circ}.6$) i w odległości 74 km od Lubomira znajduje się OAKJ w Rzepienniku Biskupim.

Kreatywne zajęcia z astronomii dla dzieci wczesnoszkolnych

Elżbieta Kuligowska

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Abstrakt

W okresie wakacyjnym tego roku (2017) poproszono mnie o przygotowanie i przeprowadzenie kreatywnych warsztatów astronomicznych dla uczestników półkolonii odbywających się w Krakowie. Zajęcia miały być z założenia adresowane do dość zróżnicowanej wiekowo młodzieży, a ich podstawowym celem było zaangażowanie oraz zmobilizowanie do pracy całej grupy. W niniejszym raporcie przedstawiam krótkie omówienie zrealizowanej tematyki takich zajęć oraz problemy i wyzwania, jakie zaistniały podczas pracy z dziećmi.

Założenia programowe

Podstawowym założeniem instytucji organizującej omawiane zajęcia (półkolonie dla dzieci), czyli Akademii Małego Geniusza z oddziałem w Krakowie, jest „stwarzanie dzieciom i młodzieży szkolnej warunków do pełnego wykorzystania swojego potencjału” - w tym „nauka kreatywnego myślenia, samodzielności i budzenie w dzieciach i młodzieży głodu wiedzy” [1]. W praktyce organizatorzy zajęć dążyli więc do tego, by wszystkie realizowane warsztaty dla dzieci były ciekawe, dynamiczne, angażujące i wymagające interakcji. Wszystkie proponowane tematy warsztatów astronomicznych musiały być realizowane podczas jednej pełnej godziny lekcyjnej, ale w kilku zróżnicowanych formach (krótka prezentacja, pytania adresowane do dzieci, „burza mózgow”, dyskusja, ćwiczenia w grupach, kolejna kilkuminutowa prezentacja, ćwiczenia w parach...). Zasadniczo warsztaty nie mogły być oparte na wykładzie, jak zazwyczaj stosuje się to dla uczniów szkół średnich i dla osób dorosłych. Duży nacisk stawiany był także na to, by zajęcia były interesujące i tematycznie dopasowane dla najmłodszych dzieci w grupie, oraz by pozwalały uczestnikom na swobodne zadawanie pytań i wypowiedzanie się na temat poruszany podczas zajęć.

Warunki lokalowe

Warsztaty astronomiczne realizowane były w sali lekcyjnej, na terenie jednej z krakowskich szkół średnich. Do dyspozycji prowadzącego były: tablica, rzutnik multimedialny wraz z ekranem, komputer oraz typowe przybory szkolne (ołówki, kredki, linijki). Na sali nie było natomiast możliwości całkowitego zasłonięcia okien (zasadniczo odpadały więc wszelkie zajęcia z udziałem projektora nieba, czy wymagające całkowitej ciemności). Zajęcia zgodnie z regulaminem półkolonii [1] odbywały się w dzień (półkolonie trwały od godziny ósmej rano do wczesnych godzin popołudniowych), więc nie mogły zawierać „prawdziwych” obserwacji nieba. Dodatkowo możliwość

wyjścia na zewnątrz (na przykład na boisko szkolne) była również ograniczona. Z tych względów postanowiono wszystkie zajęcia przeprowadzić na sali, rekompensując brak aparatury astronomicznej i samego widoku nieba licznymi zdjęciami obiektów kosmicznych oraz quizami i konkursami, w których można było wygrać materiały promocyjne Uniwersytetu Jagiellońskiego związane z astronomią i innymi naukami ścisłymi (długopisy, mapy nieba, breloczki).

Grupa docelowa

Grupę docelową odbiorców zajęć popularyzatorskich stanowiły dzieci w wieku od lat 6 do 10. Warto dodać, że grupy takie są dość mocno zróżnicowane pod względem zarówno samej wiedzy, jak i zaangażowania w zajęcia. Grupy te liczyły każdorazowo do trzydziestu uczestników. Ze względów bezpieczeństwa i bardzo młody wiek uczestników zajęć nie zdecydowano się na przeprowadzenie rzeczywistych obserwacji Słońca przy pomocy teleskopu z filtrem słonecznym. Problemem mogło być również zabezpieczenie samego sprzętu.

Przykładowe tematy zajęć

W tym roku kalendarzowym przeprowadzono osiem pilotażowych, godzinnych warsztatów astronomicznych. Ich tematyka obejmowała:

Typowe odległości kosmiczne. Zajęcia te miały ukazać najmłodszym prawdziwe skale, wielkości i odległości w układzie Ziemia-Księżyc, w Układzie Słonecznym, w naszej Galaktyce oraz w Grupie Lokalnej i całym obserwowanym Wszechświecie. Postawiono w nich m. in. na odgadywanie rzeczywistych rozmiarów ciał kosmicznych (ćwiczenia w grupach). Podczas zajęć pracowaliśmy przez cały czas na modelu opartym na średnicy Słońca przeskalowanej do jednego metra (wielkość obrazu tarczy słonecznej wyświetlanej na rzutniku multimedialnym). Uczniowie mieli przykładowo za zadanie policzyć przybliżone wielkości planet Układu Słonecznego w tej samej skali, a następnie znaleźć w swym otoczeniu (przedmioty osobiste, przybory, wyposażenie sali) drobne przedmioty, które w takim modelu będą najbardziej zbliżone rozmiarami do planet i ich satelitów. W użyciu znalazły się między innymi breloczki do kluczy, piłeczki, plastelina czy papierowe kulki. Zadanie to miało przybliżyć dzieciom skalę prawdziwych wielkości i odległości kosmicznych oraz dawać możliwość wykazania się kreatywnością w szukaniu rozwiązań zadanego problemu. Osobną kwestią było w tym przypadku mierzenie średnic „planet” z dokładnością co do milimetra przy pomocy linijki. W dalszej części ćwiczenia próbowaliśmy przeskalować do tego samego modelu inne gwiazdy, galaktyki oraz grupy galaktyk. Dzieci obejrzały także najnowsze zdjęcia i inne wyniki badań naukowych, prezentujące wielkoskalowy rozkład materii we Wszechświecie [2].

Słońce i jego aktywność. Słońce jest o tyle wdzięcznym obiektem używanym w zadaniach związanych z nauczaniem i popularyzacją, że do zrozumienia jego fenomenologicznej zmienności w cyklu jedenastoletnim nie jest potrzebna (na poziomie podstawowym) specjalistyczna wiedza [3]. Najistotniejszą częścią warsztatów poświęconych zmienności Słońca było liczenie plam słonecznych realizowane w grupach kilkusobowych, na bazie wydruków stanu tarczy Słońca z różnych miesięcy i lat. Na podstawie własnych wyliczeń i podanego wzoru uczniowie obliczali (czasem korzystając z pomocy nauczyciela) Liczbę Wolfa. Następnie wspólnie zbieraliśmy wyniki z poszczególnych grup i stworzyliśmy wykres zmienności ilości plam i grup plam słonecznych na przestrzeni kilku lat. Uzupełnieniem ćwiczenia była prezentacja i dyskusja nad przyczynami i możliwymi skutkami aktywności słonecznej – uczniowie z dużym zaangażowaniem przewidywali na przykład możliwe wynikające z niej zagrożenia dla ziemskiej cywilizacji.

Gwiazdozbiory. Ćwiczenie miało na celu zapoznanie uczniów ze zmiennością widzianych z Ziemi gwiazdozbiorów na przestrzeni tysięcy lat, znaczeniem i zmiennością położenia Gwiazdy Polarnej, a także z tym, jak wyobrażano sobie konstelacje w kulturach innych niż europejskie (jakie gwiazdozbiory mieli Chińczycy, Afrykańczycy, Indianie Ameryki Północnej). Wiedzę tą ilustrowało wykonywane w parach ćwiczenie, w ramach którego dzieci miały odgadnąć, co znajduje się na zdjęciach przedstawiających mniej i bardziej znane układy gwiazd nieba północnego, ale bez klasycznych i zwykle rysowanych linii łączących elementy gwiazdozbiorów. Dodatkowo wykonali podobne ćwiczenia, w ramach którego odgadywali gwiazdozbiory wydrukowane na kartkach. Warto dodać, że uczniowie wykazali się w tym przypadku bardzo dużą inwencją twórczą i wyobraźnią, a najlepiej rozpoznawalnym przez nich gwiazdozbiorem nieba północnego okazał się Orion. Całość warsztatów uzupełniły także zdjęcia i mapy niewidocznego z Polski nieba południowego.

Ewolucja gwiazd. Podczas zajęć uczniowie dowiedzieli się, jak i dlaczego gwiazdy ewoluują – jak zmienia się wówczas ich barwa, jasność i wielkość. Omówiliśmy typowe barwy widmowe gwiazd ze szczególnym uwzględnieniem typu widmowego Słońca, a także klasyczne ścieżki ewolucyjne gwiazd o różnej masie. Uczniowie pracujący w grupach mieli następnie za zadanie skompletować i zaprezentować własne ścieżki ewolucyjne w oparciu o kartkę papieru, kolorowe kredki, klej i otrzymane od nauczyciela, gotowe zestawy gwiazd-kółek papierowych o różnych średnicach. Prezentacji wyników towarzyszyła intensywna dyskusja. Podczas tych zajęć uczniowie uczyli się również, jak posługiwać się obrotową mapą nieba i jak wynajdywać za jej pomocą na niebie najciekawsze gwiazdy różnych typów.

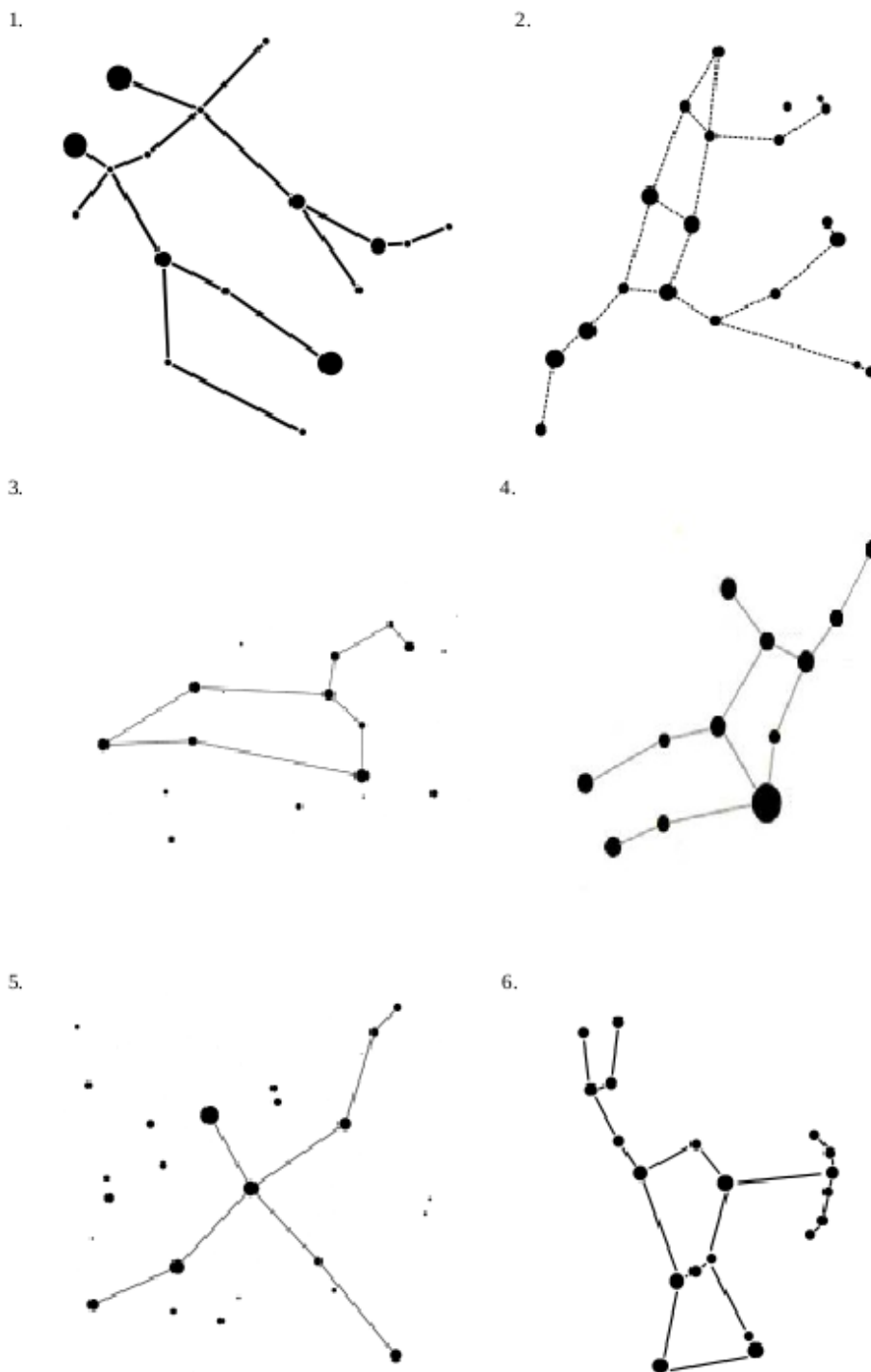
Klasyfikacja i budowa galaktyk. Być może najtrudniejszym i najambitniejszym tematem tegorocznych warsztatów były galaktyki. Ćwiczenia zaczynały się od krótkiego omówienia naszego miejsca we Wszechświecie i jego budowy hierarchicznej. Po zaznajomieniu dzieci z budową Drogi Mlecznej oraz jej miejscem wśród innych galaktyk (a także gromad i supergromad)

przeszliśmy do klasycznej klasyfikacji galaktyk w oparciu o badania Edwina Hubble'a [4]. Dzieci nie tylko uczyły się prostego rozróżniania galaktyk spiralnych i eliptycznych, ale i tematyki związanej z poprzeczkami galaktycznymi, galaktykami karłowatymi i nieregularnymi, oraz stopniem rozwoju ramion spiralnych i eliptyczności. Ilustracją praktyczną omawianych zagadnień związanych z galaktykami spiralnymi był wspólny taniec uczniów, podczas którego zasymulowaliśmy ruch i powstawanie ramion spiralnych. W drugiej części ćwiczenia uczniowie mieli samodzielnie sklasyfikować kilka przekazanych im na wydruku galaktyk w oparciu o ich obraz optyczny. Mieli także za zadanie – po obejrzeniu i wysłuchaniu krótkiej prezentacji – zaznaczyć różnymi kolorami regiony występowania różnych populacji gwiazdowych.

Podsumowanie

Podczas pracy z dziećmi w ramach tegorocznych półkolonii „Akademii Małego Geniusza” zrealizowano pięć tematów pilotażowych warsztatów astronomicznych, przy czym powtarzające się w danych turnusach grupy łącznie uczestniczyły w nie mniej niż dwóch różnych zajęciach. Cechą typową warsztatów były: 1) brak możliwości przeprowadzenia jakichkolwiek obserwacji astronomicznych w czasie rzeczywistym na niebie, 2) „żywa” forma, odbiegająca ideowo od prostej formuły wykładu popularnonaukowego oraz 3) silne zróżnicowanie grup, objawiające się przede wszystkim różnym poziomem wiedzy na temat astronomii. W sytuacji konieczności improwizowania i reagowania na różne potrzeby uczniów postawiono przede wszystkim na spontaniczność i bezpośredni kontakt z dziećmi (podczas każdych zajęć nie mniej niż 10 minut przeznaczono na „wolne” pytania z ich strony, a na pytania i tematy poruszane przez uczniów w pewnym stopniu reagowaliśmy również na bieżąco, podczas prowadzenia warsztatów.) Przy braku dostępnego sprzętu astronomicznego duży udział w zajęciach miały stosowne pomoce naukowe (mapy nieba, nomogramy faz Księżyca, przedmioty symbolizujące planety, proste papierowe „teleskopy” itp.). Bardzo pomogła również dostępność rzutnika multimedialnego i komputera podłączonego do sieci – dzięki nim można było pokazać dzieciom najnowsze (pochodzące z danego miesiąca, w przypadku lipcowej aktywności Słońca nawet z tego samego poranka) zdjęcia Kosmosu udostępniane m. in. przez agencję kosmiczną NASA.

Podczas zajęć problemy pojawiały się sporadycznie i były związane głównie z dużą liczebnością grupy i trudnościami zarówno w zapanowaniu nad nią, jak i indywidualnym dotarciem do każdego z uczniów. Można także zaryzykować stwierdzenie, że w przypadku grup nieco mniej zróżnicowanych pod względem wieku prezentowany na warsztatach poziom wiedzy mógłby być lepiej dostosowany do wszystkich dzieci.



Przykładowe ćwiczenie wykonane przez uczniów podczas warsztatów poświęconych gwiazdozbiorom: odgadywanie, co przedstawiają poszczególne zarysy konstelacji.

Na szczególną uwagę zasługuje bardzo silne zaangażowanie uczniów w prowadzone zajęcia i poszerzanie ich wiedzy astronomicznej. Z doświadczeń nabytych podczas warsztatów wynika, że mimo braku przedmiotu astronomia w podstawie programowej zainteresowanie nią jest w społeczeństwie duże, a poziom wiedzy prezentowany przez dzieci w wieku 6-10 lat był zaskakująco wysoki. Trudno w tym miejscu stwierdzić, z czego to wynika – czy z uczestnictwa dzieci na co dzień mieszkających w Krakowie i okolicach

w imprezach naukowych (uniwersyteckich Dniach Otwartych, „Festiwalach Nauki” i „Nocach Naukowców” organizowanych m. in. przez Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego i Młodzieżowe Obserwatorium w Niepołomicach, „Wieczorach z gwiazdami” odbywającymi się w OA UJ [5]), czy coraz bardziej powszechnych w naszym kraju materiałach i filmach astronomicznych dostępnych w sieci („Urania-Postępy Astronomii”, „Astrofaza” itp.), czy też coraz większą świadomością i wiedzą ludzi w zakresie astronomii, którą rodzice sami przekazują młodszymi pokoleniom. Podsumowując – zapotrzebowanie na tego typu zajęcia adresowane do dzieci w wieku wczesnoszkolnym i przedszkolnym wydaje się być bardzo duże i w pełni satysfakcjonujące.

Bibliografia

- [1] Akademia Małego Geniusza (<https://malygeniusz.org/>)
- [2] Pomarede D. i in., 2017, ApJ 845, 55
- [3] Put J., 2016, “Astronomia dla najmłodszych”, Kolos Conference, Słowacja 1-3.12.2017
- [4] Hubble E.P., 1926, “*Extra-galactic nebulae*”, Astrophysical Journal. 64, 321
- [5] Kundera T., Kuligowska E., 2017, “Wieczory z gwiazdami”, 38 Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, Zielona Góra



Naprowadzanie 11-tonowej podstawy radioteleskopu na wystające z fundamentu śruby.
(OAKJ w Rzepienniku Biskupim, 5 sierpnia 2017)

Schody do nieba w Rzepienniku

Bogdan Wszolek^{1,2,3}

¹Instytut Fizyki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

²Stowarzyszenie Astronomia Nova

³Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim

Wstęp

W lipcu 2014 do Obserwatorium Astronomicznego Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim sprowadzono z Komorowa mobilną antenę wojskową RFT-5.4 oraz stalową wieżę z odpowiednim podestem, na którym stała ta antena w latach 2004–2014 (Wszolek 2014). Samą antenę zmontowano w Rzepienniku już w 2014 roku i tymczasowo posadowiono bezpośrednio na gruncie. Dla zabezpieczenia odpowiednich warunków pracy anteny, należało ją posadzić ponad drzewami dookólnego lasu. Gwarantuje to znaczne poszerzenie horyzontu oraz likwiduje zagrożenie dla otoczenia w przypadku ewentualnego nadawania silnych sygnałów radiowych (mikrofale).

Po dwuletnich przyziemnych zmaganiach z problemem odtworzenia wieży, przystąpiono w sierpniu 2017 do jej ostatecznego montażu. Przedsięwzięcie wymagało sprowadzenia odpowiedniego dźwigu. Miał sobie poradzić z wniesieniem czterech ton na wysokość ponad 20 metrów. Z drugiej strony nie mógł to być zbyt ciężki dźwig, gdyż nie dojechałby do obserwatorium. Po wielu przymiarkach optymalnym rozwiązaniem było wynajęcie czterokołowego dźwigu zdolnego podnieść maksymalnie 38 ton. Najbliższy taki dźwig był do wynajęcia w odległej o 50 km Krynicy, ale tylko w soboty. Należało zatem skoordynować dźwig i załogę monterską na którąś sobotę poprzedzoną długim okresem pięknej słonecznej pogody. Ciężki sprzęt miał bowiem wjechać z twardej drogi na łąkę i tam nie ugrzęznąć. A warto wspomnieć, że z powodu kaprysów pogody nie udało się zrealizować przedsięwzięcia jesienią 2016. W dodatku lato 2017 okazało się być wyjątkowo mokre. Przelewało prawie każdego dnia. Na drodze dojazdowej do obserwatorium przeważnie były kałuże, a woda zgromadzona w zagłębieniach na terenie obserwatorium przez całe lato nie wyschła. W takiej sytuacji już samo przekonanie właściciela dźwigu do podjęcia się zadania graniczyło z cudem.

Inny problem, to dobór ludzi, którzy sprawnie i bezpiecznie wykonaliby bardzo trudne prace monterskie na wysokości. Własnymi siłami zostały wcześniej pomontowane poszczególne segmenty wieży i sama platforma. Teraz należało te elementy wynieść w górę i tam je odpowiednio poskręcać. Praca nietypowa i bardzo niebezpieczna, nawet dla osób na co dzień pracujących na wysokościach. W ostateczności planowałem osobiście wszystkie te niebezpieczne prace wykonać. Nauczyłem się wcześniej największe ryzyko brać na siebie. Ale tu nie tylko determinacja, odwaga i wyćwiczona ogólna sprawność neurologiczna były istotne. Liczyła się też siła mięśni, która u mnie od jakiegoś czasu maleje. Szczęśliwym trafem, mamy w rodzinie młodego sprawnego

człowieka (Jurka), zarabiającego już od wielu lat na życie właśnie pracami montażowymi na wysokościach. Zgodził się pomóc, pod warunkiem, że praca zostanie zorganizowana w czasie, kiedy on ma wolne w firmie.

Etap pierwszy

Ostatecznie, w sobotę 5 sierpnia, o godzinie czwartej rano wykonałem telefon do właściciela dźwigu, że u nas nie pada i można działać. Około 5:30 dźwig wjechał na teren obserwatorium i szczęśliwie dojechał na miejsce pierwszego ustawienia. Pod jego ciężarem teren się zapadał, ale nie tak groźnie, żeby od razu ugrzęznąć. Młody operator dźwigu (Krystian), okazał się być człowiekiem wyjątkowo bystrym i chętnym do działania. Jurek miał, po nocnej podróży z północnej Polski, pojawić się około ósmej. Mieliśmy jednak do tego czasu do wykonania prace przygotowawcze. Rozpoczynaliśmy wcześniej, bo myśleliśmy wykonać pracę w jednym dniu. Nic to, że ja z nerwów nie zmrzyłem oka w noc z piątku na sobotę. Krystian przespał się podobno 4 godziny, a Jurek jeszcze mniej.



Fundament z wbetonowanymi śrubami pod nogę od RT-16 z Psar.

Z miejsca pierwszego ustawienia dźwigu należało: a) unieść 11-tonową nogę od RT-16 z Psar i zamontować ją na wcześniej przygotowanym fundamencie, b) oddzielić czaszę RFT-5.4 od reszty i przybliżyć wszystko w stronę miejsca przeznaczenia, c) podnieść do pionu 12-metrowy maszt odgromowy i doczepić go do platformy. Najbardziej nieprzewidywalne było pierwsze z tych zadań. Fundament i wystające z niego śruby wykonałem osobiście jeszcze w 2015 roku. Śruby były metrowej długości i o średnicy 5.8 cm. Każda ważyła ponad 20 kg. Wszystkie były pokrzywione podczas niszczenia fundamentu pod RT-16w Psarach. Przy prowizorycznie wykonanym szablonie i krzywych śrubach nie łatwo było ustawić je do zalania betonem dokładnie tak, żeby spasowały jednocześnie do 24 odpowiadających im otworów kołnierza stalowej nogi. Choć zdawało się, że śruby wystają jak należy, to pewności

nie było! Z niepokojem wyczekiwana chwila prawdy nadeszła dopiero podczas montażu. 24 otwory o średnicy 6 cm, rozłożone w stalowym kołnierzu wzdłuż okręgu o średnicy 180 cm, idealnie wpasowały się do czekających na nie śrub o średnicach 5.8 cm! Część stresu odpłynęła, ale, jak się miało po śniadaniu okazać, nie na długo.



Montaż 11-tonowej nogi radioteleskopu na fundamencie o masie 140 ton.

Do miejsca drugiego ustawienia dźwigu jeszcze dało się dojechać i przybliżyć w stronę fundamentu wieży elementy anteny i platformę. Jednak czterokrotnie podejmowana próba dojechania dźwigu na właściwe i ostatnie miejsce jego pracy nie powiodła się. Dźwig tonął w terenie i za każdym razem trzeba było ogromnym wysiłkiem wydobywać z błota. Otoczenie budowy wieży zostało zryte kołami dźwigu tak, że koleiny były widoczne nawet z kosmosu. Dalszą pracę odłożono do czasu, kiedy albo będzie bardziej sucho, albo zrobi się utwardzony dojazd do fundamentu wieży. Na suszę nie było co liczyć. Trzeba było zrobić 50 metrów twardej drogi w dziewiczym terenie. Różne koncepcje i piętzące się problemy rozwiązano ostatecznie gospodarczym sposobem w imię sprawdzonej zasady „rolniku zrób sobie dobrze sam”. Najpierw ciągnikiem pozwoziłem pałętające się w gospodarstwie stare pustaki betonowe i cegły, niektóre pamiętające jeszcze czasy Księcia Józefa. Ułożyłem z tego dwa równoległe pasy drogi. Trzeba to było przysypać drobniejszą frakcją tłucznia. Zamówiłem transport trzydziestu kubików kłińca i przysypałem gruby gruz. Dojazd był gotowy.

Etap drugi

W sobotę 19 sierpnia o świcie przystąpiliśmy ponownie do budowy wieży. Po południu miało lać, ale liczyliśmy, że wcześniej skończymy albo że prognozy się nie sprawdzą. Jurek przywiózł z sobą dwóch kolegów z pracy. Wszyscy odpowiednio wyposażeni do pracy na wysokościach. Było nas czterech do walki na wysokościach i dwóch do wspomagania pracy od dołu, w tym operator dźwigu, Krystian. Wszyscy byliśmy mocno zaprogramowani na sukces. Jednak prace szły wolniej, niż się spodziewaliśmy. Co chwilę pojawiały się nieprzewidziane problemy, z którymi trzeba było sobie radzić na zasadzie improwizacji. Jeden drobny błąd i już godzina albo więcej straty na jego naprawienie. Od podstawy na szczyt wieży ciągną się np. dwie stalowe drabiny, jedna do wchodzenia, a druga dla podwieszenia kabli. Dwa z czterech segmentów drabiny kablowej zdawały się na dole identyczne i pomyłono ich kolejność w czasie montażu. Kiedy pojawił się problem przy skręcaniu, ciężko było rozeznaczyć gdzie leży jego przyczyna. Strata czasu na diagnozę, strata na naprawę błędu. Tymczasem złe prognozy pogodowe sprawdziły się z czasowym wyprzedzeniem. Na obiad schodziliśmy z wysokości całkiem przemoczeni. Żadnemu z wysokościowych twardzieli nie przyszło nawet do głowy, żeby z powodu przelotnego deszczu przerywać pracę. Zwłaszcza, że z początku było jeszcze w miarę ciepło i bez przeszywającego wiatru.



Kolejny po próbie dojazdu dźwigu, zbudowana droga ku wieży i „schody do nieba”.

Posileni obiadem i ubrani w nowe, suche, ubrania powróciliśmy do pracy. Gnane nasilającym się wiatrem gęste chmury obficie zraszały budowniczych, których praca była na coraz wyższych wysokościach i wymagała coraz więk-

szej precyzji i ostrożności. Burza szła za burzą. Zrobiło się ciemno i przeraźliwie zimno. Przyszła w końcu pora na dźwiganie platformy na szczyt wieży.



Prace montażowe wieży. Najpierw przy ziemi, potem na wysokościach.



Dźwiganie i skręcanie.

Krystian miał obawę czy za pierwszym razem uda mu się tą dużą platformę zaprowadzić od razu gdzie trzeba, czy będzie się musiał przestawiać i od nowa próbować. Zmarznięci i smagani wysokościowcy czekali na szczycie na platformę i daremnie starali się utrzymać kontakt wzrokowy i głosowy z operatorem. W końcu wpadli na pomysł użycia CB radio. Zanim się roztrząsało, udało się z wielkim trudem posadzić platformę na szczycie wieży. Teraz chodziło o to, żeby naprowadzić otwory uchwytów platformy na odpowiednie otwory w uchwytach wieży. Łącznie 44 otwory z luzem 1 mm na śruby. Mocowania były pod spodem platformy i w skrajnie niedostępnych miejscach. Należało operować albo w przykucku, stojąc na jakiejś mokrej kantówce nad przepaścią, albo uwiesić się u platformy, która wciąż jeszcze szuka swojego

ostatecznego położenia wisząc na linach dźwigowych. Zanim przykręcenie platformy do wieży okazało się niemożliwe upłynęło dużo czasu. Nikt nie dopuszczał możliwości porażki, choć totalne zmęczenie, ciemność i wredna pogoda dawały się mocno we znaki. Dopiero w obliczu zagrożenia z nieba, jakim stał się kolejny zryw burzowy z mocnymi wyładowaniami, pospiesznie odpięto liny i opuszczono ramię dźwigu, którego koniec, znajdujący się na wysokości 30 metrów ponad ziemią, mógł być łatwym celem piorunowego rażenia. O godzinie 22:50 trzeba się było w popłochu zwinąć, a praca wciąż nie została ukończona. Największym pozytywem tego dnia był fakt, że nie doszło do żadnego nieszczęścia!



Łączenie drugiego segmentu wieży z pierwszym i problemy z ich dopasowaniem.



Łączenie trzeciego segmentu z czwartym. Praca na wysokości 15 metrów.

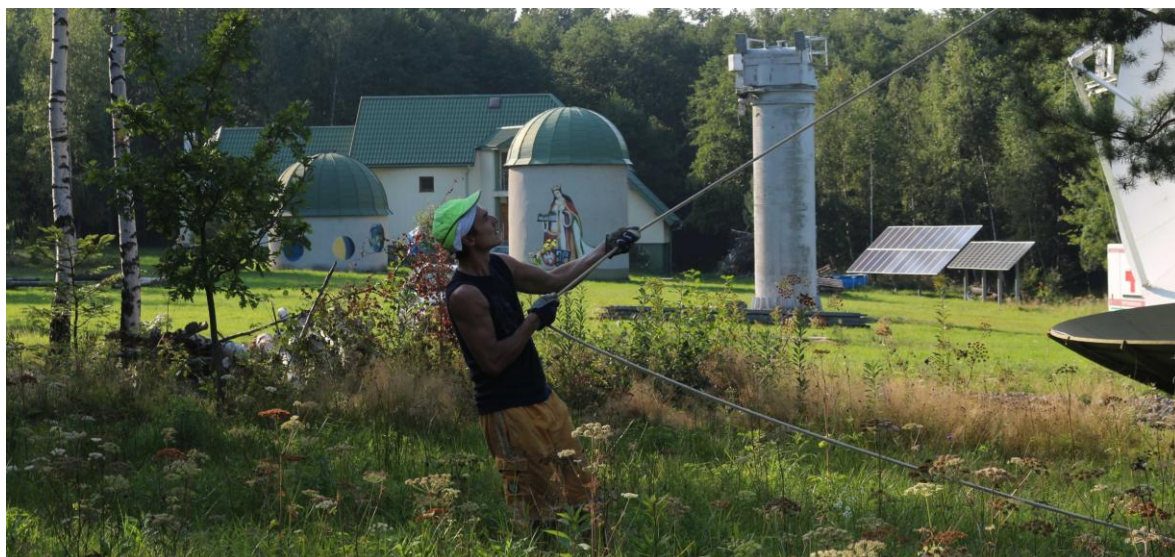
Etap trzeci

Zadanie dokręcenia platformy do wieży wykonałem sam, używając tylko prostych narzędzi. Okazało się, że po demontażu w Komorowie i po ponownym skręceniu w Rzepienniku geometria szczytowego segmentu wieży i platformy nie zostały idealnie odtworzone. Delikatne ugięcia elementów podczas transportu oraz inne niż pierwotne rozłożenie luzów na łączeniach sprawiły, że 44

otwory uchwytów platformy nie dały się idealnie naprowadzić na odpowiadające im otwory uchwytów wieży. Niezgodności były na tyle duże, że trzeba było poluzować niektóre śruby i przy pomocy „rugcuga” odkształcić platformę lub naciągnąć wieżę tak, żeby odpowiednie otwory naszły na siebie i żeby można wsunąć w nie śruby mocujące. Po dwóch dniach samotnego podniebnego „tańca” udało mi się dokręcić platformę do wieży. Teraz znowu trzeba było sprowadzić dźwig i wnieść na wieżę antenę. Udało się zorganizować pracę w piątek 1 września po południu. Było nas trzech, Jurek, Krystian i ja. Najpierw Jurek sprawdził, i jak było trzeba dokręcił na fest, wszystkie śruby. Potem posadowiliśmy spód anteny na platformie. Dźwig pracował na granicy swoich możliwości obciążeniowych, ale się udało. Potem czasza. Była lekka, ale trzeba ją było wynieść wyżej niż cokolwiek wcześniej. Tym razem operacja przebiegała na granicy możliwości wysięgu. Bez większych kłopotów przymocowaliśmy z Jurkiem czaszę do jej podstawy, a potem pozostało tylko odczepić liny. Cała operacja umiejscowienia RFT-5.4 na platformie wieży trwała zaledwie dwie godziny.



Podnoszenie podstawy czaszy RFT-5.4.



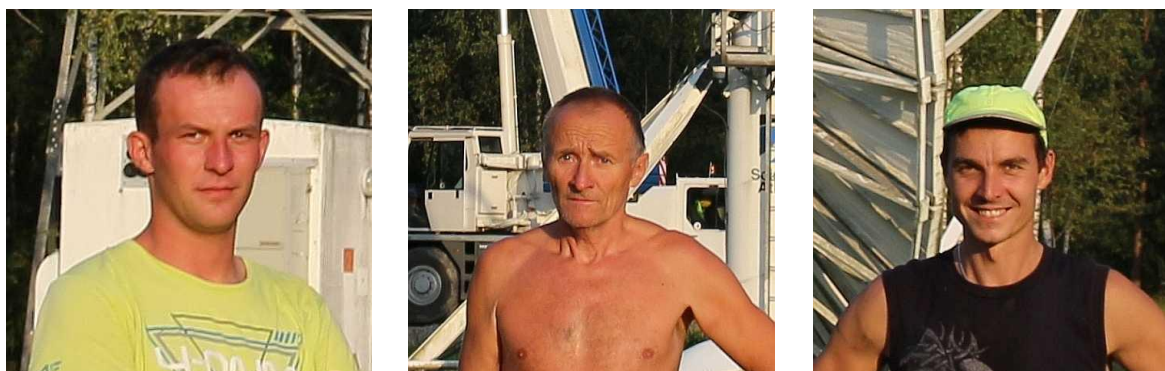
Sterowanie i ubezpieczanie dźwignia 4-tonowej podstawy radioteleskopu na wieżę.



Najmłodszy „pomocnicy” podczas ostatniego etapu montażu.



Posadowienie radioteleskopu na platformie i montaż.

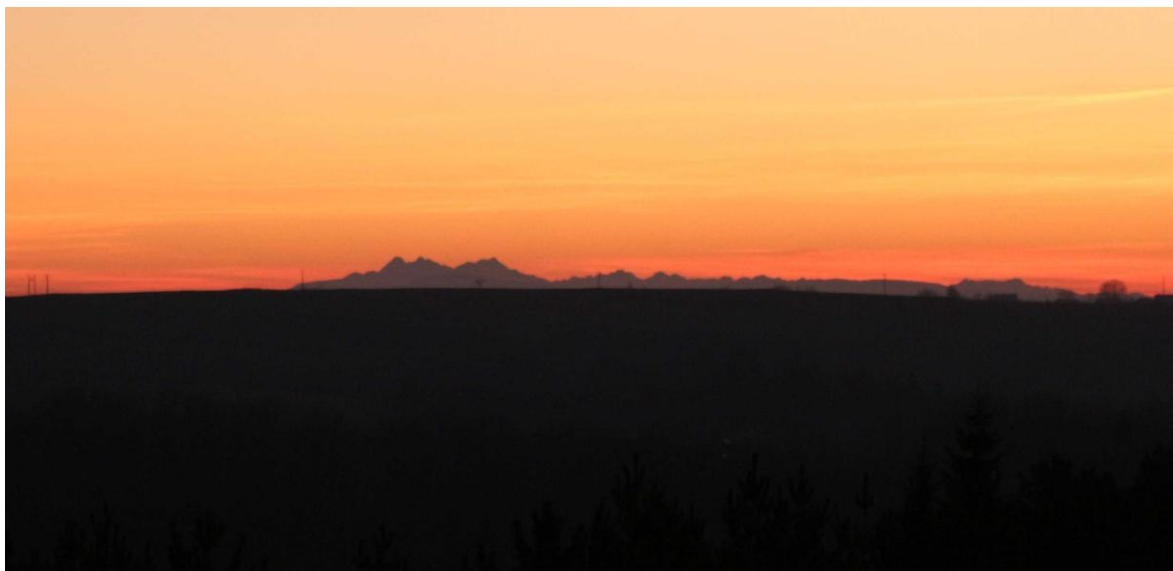


Od lewej: Krystian Janusz, Bogdan Wszolek i Jerzy Beściak.

Uwagi końcowe

Budowa wieży w OAKJ pod RFT-5.4 była dla mnie największym i najbardziej niebezpiecznym wyzwaniem życiowym. Zakosztowałem wcześniej trud demontażu tej wieży w Komorowie i nie spodziewałem się, że będzie lekko w Rzepienniku. Stalowa konstrukcja o masie dwudziestu ton, skręcona setkami różnego kalibru śrub. Odtworzenie tego, w dodatku w większości w pojedynkę, to bardzo konkretne zadanie. Pierwszą część fundamentu pod wieżę wykonałem w roku 2014. Wtedy też skręciłem samodzielnie platformę. W 2015 roku skręciłem z synem najwyższy segment wieży. Rok później wbetonowałem i zmontowałem samodzielnie dolny, najcięższy, segment wieży oraz posegregowałem i poskręcałem częściowo oba segmenty pośrednie. Opisane działania z pomocą dźwigu i pomocników z zewnątrz błędą w obliczu całego do tych działań przedbiegu, rozegranego w latach 2014-2017. Wielu wątpiło, że wieża kiedykolwiek stanie. Zwłaszcza jak pozornie nic się nie

działo w tę stronę w roku 2016, kiedy cały swój twórczy potencjał zainwestowałem w budowę bazy kosmicznej M.A.R.S.. Jednak, od 1 września 2017 wieża już stoi i dźwiga wspaniałą antenę, która też woła o dalszą rewitalizującą pracę. Kiedy pokonam teraz sześćdziesiąt schodków w stronę nieba, by znaleźć się przy niej, mogę ucieszyć oczy ponad leśnym krajobrazem, często upiękaszonym koroną Tatr, widniejącą na południowo zachodniej części horyzontu.



Tatry po zachodzie Słońca widoczne z wieży w OAKJ. Najwyższy pik z lewej to Łomnicki Szczyt (2634 m n.p.m.). Leży w odległości 90.6 km i na azymucie $224^{\circ}.8$. Obserwatorium astronomiczne na Łomnicy, jako jedyne, może być dostrzegalne przez teleskop z OAKJ.

Podziękowania

Nade wszystko dziękuję Opatrzności, za wszystko w co mnie wyposażyła i za wszystko w czym mi pomagała na okoliczność pozyskania i ponownej budowy anteny i podtrzymującej ją wieży.

Dziękuję tym, którzy narażali swoje życie i zdrowie przy demontażu wieży w Komorowie i przy jej montażu w Rzepienniku. Są to: Kamil Wszółek, Kamil Żurawski, Jurek Beściak, Michał Zając i Kamil Zygałło. Dziękuję też żonie Magdalenie, Piotrowi Beściakowi, Arturowi i Agnieszce Kuźmiczom, Agacie Kołodziejczyk, Krystianowi Januszowi, Michałowi i Jurkowi Kaczorowskiom oraz Mateuszowi Harasymczukowi – za różnoraką pomoc na rzecz budowy wieży.

Literatura

Wszółek B., 2014, CKA2015, 131 (w wersji elektronicznej dostępny na stronie: www.astronomianova.org/publikacje)

Problemy wokół nauczania astronomii

Bogdan Wszolek^{1,2,3}

¹Instytut Fizyki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie

²Stowarzyszenie Astronomia Nova

³Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi w Rzepienniku Biskupim

Wstęp

Siedząc kiedyś na brzegu rzeki w Komańczy, byłem świadkiem ciekawego zdarzenia rozgrywającego się w przyrodzie. Po betonowej pochylni, zbudowanej na potrzeby regulacji, na całej szerokości rzeki spływała woda laminarną taflą o grubości może pół centymetra. Pochylnia była stroma i nad dolny poziom rzeki wystawała może z metr. Młode pstrągi postanowiły pokonać przeszkodę w kierunku pod prąd. Na głębokiej wodzie nabierały rozpędu i starały się po płyciźnie na pochylni wypłynąć na jej szczyt i dalej w górę rzeki. Na płyciźnie pochylni grzbiety, a czasem i boczne płetwy, miały nad wodą, brzuchami zaś ocierały o beton. Średnio odpadały w połowie pochylni i spadały z powrotem na głębie. Było tych pstrągów z tysiąc. Siedziałem tam długo i kibicowałem. Długo myślałem, że są bez szans. Jednakowoż, jedna na kilka tysięcy prób się udawała! Byłem pełen podziwu dla tych małych istot i ich determinacji, z jaką atakowały „górze”. Podobne, z przyrody wzięte przykłady, zdają się świetnie ilustrować to, co rozgrywa się w duszy kogoś, kto tęskni do poznania tego co w górze, kogoś kto pragnie osiąść wiedzę o gwiazdach i nie jest dla niego istotne, co on z tego będzie miał.

Ileż dobra dla świata mogłoby wynikać z umasowienia, jak u tych rybek, tego rodzaju usposobienia. Nie chodzi o to, żeby wszyscy byli astronomami. Niechże każdy pływa jak umie i tańczy w takt muzyki własnej duszy. Byle był świadom przy tym tej perspektywy, jaka odsłania się ludziom badającym Kosmos. Perspektywy, która motywuje do działania i która pozwala lepiej zrozumieć miejsce, rolę i naczelną celność człowieka. Komu to dobro leży na sercu, będzie sprzyjał oświacie astronomicznej. Nawet „pod prąd”!

Jeśli zastanowić się głęboko nad człowiekiem i jego zależnością od środowiska naturalnego, szybko staje się oczywistym, że nic nie ucłowiecza bardziej niż zażyłość z tym wszystkim, czym zajmuje się astronomia. Dlatego zdobywanie i szerzenie wiedzy o Wszechświecie powinno zajmować naczelną rolę w życiu społeczeństw. Zwłaszcza w obliczu dzisiejszej wiedzy, że Ziemia tymczasowo tylko sprzyja życiu, a przetrwanie gatunku ludzkiego zależy od zdolności znajdowania i urządzania w Kosmosie alternatywnych miejsc egzystencji.

Nie ma najmniejszej wątpliwości, że podstawową wiedzę astronomiczną powinien posiadać każdy, bo swoją ważnością przerasta ona w istocie nawet zdolność pisanego i czytania. Uchybienia w zakresie edukacji astronomicznej społeczeństw nigdy nie znajdą usprawiedliwienia i zawsze będą miarą oświatowego zaniedbania. Warto nadmienić, że jak świat światem, koronowane

głowy nie stroniły od wiedzy astronomicznej, ale posługiwały się i wychodziły z nią do ogółu, w sposób dobrany do jego zdolności percepcyjnych. Prześiąknięcie wszelkich religii treściami astronomicznymi jest tego najdobitniejszym wyrazem. Jeśli w XXI wieku edukować społeczeństwa astronomicznie, to jak to robić? Czy nadal podawać ludziom wiedzę o Wszechświecie w formie ureligijnionej, czy dać im wreszcie dostęp do wiedzy konkretnej?

Matematyka

Przez tysiąclecia astronomia była matematyczna; była traktowana jako szczyt matematyki. Nie jest odkrywczym sformułowanie, że każda edukacja w zakresie astronomii ma być poprzedzona solidną edukacją matematyczną. Przyszły astronom musi zawczasu matematykę pokochać! Najpierw matematykę w liczbach, działaniach i w rysunkach geometrycznych. Potem matematykę w dowodach twierdzeń i logicznych rozumowaniach. I tak coraz wyżej, aż znajdzie ją w pełnym majestacie piękna. Chwała dobrym nauczycielom matematyki. Mają prawo za swoją pracę oczekiwać nagrody w niebie! Swoich nigdy nie zapomnę; najpierw ojciec, potem Janina Hadalska, Zofia Wawruszczak, Helena Ołpińska i na studiach m.in. Wiesław Pleśniak, Witold Kleiner i Andrzej Staruszkiewicz.

Wielki Johannes Kepler pięknie opisuje jak, prowadząc lekcję matematyki w szkole podstawowej, doznał olśnienia astronomicznego, które miało zdecydować o całym jego przyszłym życiu. Dowodził swoim uczniom, że okrąg wpisany w trójkąt równoboczny ma promień dwa razy mniejszy niż promień okręgu opisanego na tym trójkącie. W tle rozważań przypomniał sobie z lekcji astronomii, że promień orbity Jowisza jest też dwa razy mniejszy od promienia orbity Saturna. Czyżby proste figury geometryczne determinowały jakoś położenia planet względem Słońca? Jakież znaczenie dla ludzkości miała ta myśl, która ogarnęła młodego nauczyciela matematyki u schyłku XVI wieku! Ja osobiście mając 18 lat, kiedy dojrzałe należało zdecydować o kierunku studiów, odrzuciłem wszystkie rozważane kierunki, które nie przewidywały ambitnego przedłużenia mojej edukacji matematycznej. Nie wyobrażałem sobie dalszego życia bez matematyki i dlatego wybrałem studia astronomii. Nie bez znaczenia była tu również moja równoległa miłość do fizyki.

Kto czuje się zatem odpowiedzialny za ogólną edukację narodu, w tym również w zakresie astronomii, niech go najpierw dobrze uczy liczyć! Jeśli w wieku ośmiu lat człowiek nie zna biegle tabliczki mnożenia, jest mało prawdopodobne, że kiedykolwiek zainteresuje się naukami przyrodniczymi.

Nauczyciel

Dobre nauczanie bazuje na dobrych nauczycielach, a o takich coraz trudniej. Nauczyciel powinien być odpowiedzialny za to co robi i merytorycznie być przygotowany do pełnienia swojej misji. Co w ostatnich czasach stało się ze szkolnictwem pedagogicznym w Polsce? Ile Wyższych Szkół Pedagogicznych

z czasów socjalistycznych dotrwało do dziś bez zmiany nazwy i profilu kształcenia? A powiedziano mądrze, że „takie Rzeczypospolite będą, jakie ich młodzieży chowanie”. Za edukację i wychowanie człowieka odpowiadają właściwie rodzice, księża i nauczyciele. Ilu rodziców, księży i nauczycieli przechodzi jakiś rodzaj kształcenia z podstaw astronomii? W skali kraju odpowiednich nauczycieli elementarnych podstaw astronomii jest zaledwie kilkadziesiąt. Są to głównie astronomowie wykształceni w uniwersytetach, którzy obrali właśnie misję szerzenia wiedzy przyrodniczej. Są też ludzie aktywnie i samowolnie wkraczający w dziedzinę edukacji astronomicznej w swoich środowiskach. Na ogół nie mają ku temu przygotowania merytorycznego. Są wśród nich nauczyciele matematyki, fizyki, geografii, religii i in., a także osoby najróżniejszych innych profesji, którzy swoje zainteresowanie astronomią wzbogacili lekturą kilku przypadkowo zdobytych książek, obejrzeniem kilku filmów, odwiedzeniem kilku portali internetowych, czasem jakąś nieprofesjonalną aktywnością typu wyjazd na zaćmienie Słońca. Jeśli nawet przechodzili oni jakiś kurs astronomii elementarnej w czasie studiów, to dawno wszystko zapomnieli. Jest sprawą bardzo dyskusyjną, czy takim ludziom można powierzać edukację astronomiczną. Często prezentuje się pogląd, że lepiej uczyć jakkolwiek niż wcale. W takim myśleniu tkwi jednak kardynalny błąd. Lepiej bowiem nie uczyć wcale, niż uczyć źle! Połowę swojej dydaktycznej działalności poświęcam *prostowaniu myślenia* u młodzieży i dorosłych, którzy już czegoś tam zdążyli się źle nauczyć i z nieukrywanym zdziwieniem wysłuchują astronoma, który rzeczy widzi inaczej. Nawet wspaniałe i wartościowe książki Michała Hellera mogą być przez wielu opacznie rozumiane i prowadzić do różnych *herezji* astronomicznych wśród niespecjalistów. Dobry nauczyciel odpowiedzialnie podaje treści uczniom. Mówi *tak*, mówi *nie* i mówi często *nie wiem*. Lepszy bowiem brak wiedzy o czymś niż wiedza fałszywa. Lepiej nie wiedzieć, ile jest siedem razy osiem, niż być pewnym, że jest np. sześćdziesiąt trzy. Ten, co nie wie, będzie musiał sprawdzić i błędu nie popełni. Ten, co wie źle, nie będzie sprawdzał!

Dobry podręcznik

Nieoceniona jest rola dobrego podręcznika astronomii. Wielka szkoda, że tak mało astronomów pisze podręczniki! Kiedy niedawno podstawa programowa z fizyki dla gimnazjów i liceów przewidywała jeszcze nieliczne treści astronomiczne, na rynku wydawniczym namnożyło się drogich podręczników, a wydawcy wyprzedzali się w działaniach dla pozyskania klienta. Byłem wtedy adiunktem w Obserwatorium Astronomicznym UJ i jednocześnie opiekunem zdolnej młodzieży licealnej zrzeszonej w sekcji astronomicznej działającej w ramach Krakowskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk i Sztuk. Podopieczni przynieśli mi kiedyś do obserwatorium swój podręcznik do fizyki, w którym sami zaznaczyli po kilkanaście błędów na stronę w rozdziale dotyczącym astronomii. Szukali u mnie potwierdzenia, że wychycili trafnie te

błądy. Doznałem szoku! Rzecz była zatwierdzona do użytku szkolnego przez odpowiednie Ministerstwo. Nikomu nie przyszło do głowy by poprosić astronoma o przeczytanie i korektę tekstu rozdziału na etapie wydawniczym. Nie pozostałem wobec tej sytuacji obojętny. Uczniom podsunąłem dawny podręcznik licealny Konrada Rudnickiego *Astronomia*. Zaproponowałem wydawnictwu WSiP wznowienie tej książki. Obiecałem nawet, że mogę dostarczyć gotową do druku wersję cyfrową książki. Odpowiedziano mi cynicznie, że wobec wycofania przedmiotu astronomii ze szkół, nikt tego nie kupi i oni tego nie wydadzą. W rezultacie wersja elektroniczna książki trafiła na stronę www.astronomianova.org/publikacje i stamtąd może ją każdy darmo pobrać. Dla swoich licznych studentów napisałem i wydałem podręcznik *Wprowadzenie do astronomii*, którego nakłady trzech kolejnych wydań szybko się rozeszły. Podobnie podręcznik napisany z myślą o studentach geografii *Elementy astronomii dla geografów*. Oba podręczniki są do pobrania w wersji elektronicznej na wymienionej stronie. Dla wielu mogą być one dobrym wstępem do studiowania trudniejszych podręczników akademickich, jak *Astronomia ogólna* Eugeniusza Rybki czy *Astronomia w geografii* Jana Mietelskiego.

Zmorą rynku księgarskiego jest obecnie prawie całkowity brak podręczników do astronomii. Czy bez nich można myśleć o sensownej edukacji?

Planetarium

Najwspanialszym pomysłem na wyjście z treściami astronomicznymi do najszerzych kręgów publiczności są planetaria. Budynki planetariów zwykle przyjmują wyszukane architektonicznie kształty. Należą, jak świątynie, do najpiękniejszych obiektów w miastach, które je posiadają. Planetarium podnosi zawsze kulturowy prestiż miasta. Byłoby pięknie, gdyby potrzeba urządzenia planetarium w danym miejscu rodziła się oddolnie. Żeby ludzie go pragnęli i byli nawet gotowi osobiście się zaangażować w jego budowę. Jednak ludzie współcześni podchodzą do rzeczy inaczej. Z nudów raczej niż ze szczerego umiłowania wiedzy, szukają w planetarium rozrywki. A skoro jest popyt na kosmiczną rozrywkę, to można rzecz ubrać w ramy biznesowe i organizować planetaria nie tyle z myślą o edukacji astronomicznej, co dla zysku.

Przez wiele lat jeździłem do Kijowa ze swoimi studentami na konferencje astronomiczne. Zawsze zabierałem ich do tamtejszego planetarium. Z początku była to jeszcze tradycyjna socjalistyczna placówka dydaktyczna. Piękny i okazały budynek, artystyczne malowidła kosmiczne, wszystko utrzymane w jednym podniosłym klimacie. Na długim dojściu do sali projekcyjnej różne oryginalne eksponaty ze wczesnego etapu podboju kosmosu. Wszystko tam było w najwyższym stopniu profesjonalne. Miało się wrażenie, że nawet kasjerka czy sprzątaczką są po uniwersyteckich studiach astronomicznych. Ale rok później czy dwa, kiedy zdziczenie kapitalistyczne doszło już do Kijowa, ktoś zdecydował, że planetarium musi na siebie zarabiać. Zwolniono część personelu, a rozległe przestrzenie wnętrza gmachu, okalające salę pro-

jekcyjną, wynajęto straganiarzom. Przez kilka kolejnych lat, amatorzy seansów w planetarium, musieli się przeciskać między straganami z drogerią, papierem toaletowym, majtkami i wszelkimi różnościami powszechnego użytku. O dawnym sklepiku z książkami, atlasami, mapami i innymi astronomicznymi pomocami dydaktycznymi nie pozostał ślad. Godziny otwarcia planetarium dostosowano do godzin pracy handlarzy, w przeciwnym wypadku osoby odwiedzające planetarium mogłyby kraść po drodze rzeczy na niestrzeżonych straganach. I chociaż poziom dydaktyczny seansów wciąż jeszcze był utrzymany po staremu, przestałem tam prowadzić swoich studentów. Jakież było moje zdziwienie, gdy w roku 2015 znów zajrzałem do kijowskiego planetarium! Ani śladu po straganach, wszystko umeblowane współcześnie. Zamiast dawnych eksponatów kosmicznych pojawiły się automaty sprzedające słodycze i napoje. Gdzieś tam sprzedają lody, gdzie indziej ciastka, kawę i herbatę. Sala urządzona po nowemu, projekcja cyfrowa. Kontakt z astronomem zero. Sklepik z prymitywnymi gadżetami prosperował dobrze, ale daremnie byłoby tam pytać o coś, co mogłoby zainteresować miłośnika astronomii. Ktoś znowu uznał, że można tam zrobić lepszy interes niż na wynajmie przestrzeni handlarzom. Wcześniejsza profanacja miejsca i jego przeznaczenia schowała się pod szatą nowoczesności i stała się dla wielu nawet niezauważalna. Zamiast mniej licznych dawniej amatorów wiedzy astronomicznej, dziś planetarium odwiedza mnóstwo ludzi, którzy jeszcze nie pili kosmicznej kawy, ani nie pokosztowali kosmicznych lodów.

Pierwsze polskie planetarium cyfrowe zorganizowałem w częstochowskiej AJD w 2006 roku, kiedy w planetarium kijowskim kwitł jeszcze handel na straganach. Przyświecała mi idea planetarium na wzór „świątyni”, gdzie na żadne formy profanacji nie może być miejsca. Techniki cyfrowe projekcji zwodniczo sprzyjają wygodnictwu dydaktycznemu. Właściwie można tylko puścić widzom efektowny pokaz i będą zadowoleni. Nie trzeba nawet zatrudniać astronoma. Seans planetaryjny można sprowadzić do poziomu filmu, a jego wyświetlenie powierzyć choćby w miarę rożgarniętemu studentowi prawa czy informatyki. Nawet nazwę *planetarium* można zastąpić np. nazwą *kino sferyczne*. Trzeba w edukacji astronomicznej odróżniać *sacrum* od *profanum*! Może być świątynia, gdzie każdy kamień emanuje jakimś „obmodleniem”. Może być świątynia, jak przed tysiącami lat w Jerozolimie, w której sam Jezus zagrzmiał! Może być planetarium, gdzie wizyta jest przygodą natury dydaktycznej, z astronomem w roli głównej. Ale coraz częściej bywa skrajnie inaczej. Nie jest najważniejsze dla edukacji astronomicznej, żeby zbudować planetarium. Najważniejsze jest zabezpieczenie jego właściwej funkcji, czego w żadnym przypadku nie można zrobić bez kompetentnego astronoma.

Obserwatoria astronomiczne

Odgórnie zaniedbania w zakresie oświaty astronomicznej próbuje się oddolnie leczyć organizacją małych obserwatoriów astronomicznych, chociażby me-

dialnie okrzyczanych tzw. *astrobaz*. I choć przybliżanie ludziom spraw na niebie przy pomocy instrumentów obserwacyjnych może być dydaktycznie cenne, to tylko pod warunkiem, że obserwacje są elementem szerszego oddziaływania dydaktycznego, poprzedzonego wcześniejszym przygotowaniem i następującym po nim, opracowaniem wyników i wyciąganiem wniosków. Bezmyślne patrzenie przez teleskop na obiekty niebieskie mogą skutecznie zniechęcać do astronomii. Ktoś raz w życiu popatrzy przez lunetę na Księżyc i może jeszcze na coś i już ma dość astronomii na całe życie. Zapamięta, że zmarł i dostał po łapach, bo szarpał za okular. Ale nie wolno też tej pierwszej ciekawości popatrzenia na Księżyc, czy na Jowisza, przez teleskop zmarnować dla dydaktyki. Dobrze zaplanowany pokaz może wielu zachęcić do zgłębiania tajemnic nieba. Tu przywołam przykład ze swojej praktyki. Studenci pierwszego roku astronomii w UJ poprosili mnie kiedyś, żeby po wykładzie zabrać ich pod kopułę i pokazać im duży teleskop. Poszliśmy, objaśniałem, odpowiadałem na pytania. W końcu i ja zadałem im pytanie, co sprawiło, że postanowili studiować astronomię? Jedna studentka powiedziała: „Byłam z klasą kilka lat temu tu w obserwatorium. Pokazał nam Pan wtedy Saturna. Jego obraz zrobił na mnie tak mocne wrażenie, że od razu zapragnęłam być astronomem”. Ale gdybym pokazał tej wycieczce np. Marsa albo Urana zamiast Saturna, z pewnością nikogo bym do astronomii tym nie przyciągnął. W takich jednorazowych przygodach obserwacyjnych należy dobrze wiedzieć, co pokazać. Nie można też ulegać byle zachciankom wycieczkowiczów. Pokazać jedno, a dobrze.

Zasadniczą funkcją obserwatorium astronomicznego, niezależnie od rangi i wyposażenia, jest przeprowadzanie obserwacji i analiza danych obserwacyjnych. Samo w sobie obserwatorium nie jest placówką oświatową. Może jednak, jakby w dopełnieniu swojej głównej funkcji, służyć dydaktyce astronomicznej. Najlepiej to zrealizować, poprzez objaśnianie, co w danym obserwatorium się obserwuje i co z tych obserwacji można wywnioskować. Z całą mocą trzeba tu podkreślić, że prowadzenie naukowych obserwacji astronomicznych jest skomplikowaną sztuką, którą można osiąść dopiero po latach praktyki, wspieranej solidnym przygotowaniem teoretycznym.

Co jakiś czas mają miejsce jakieś osobliwe zjawiska astronomiczne. Może to być zaćmienie Słońca, tranzyt Merkurego, pojawienie się jasnej komety, jakaś szczególna konfiguracja planet. Są to najlepsze okazje dla dydaktycznych oddziaływań obserwatoriów na społeczeństwo.

Konkursy i olimpiady astronomiczne

Organizowanie zawodów sportowych zawsze jakoś mobilizuje zawodników do wzmożenia treningów. W konfrontacji z innymi chcieliby wypaść najkorzystniej. Tę chęć naturalną, spotykaną u wielu ludzi, bycia lepszym od innych wykorzystuje się świadomie dla realizacji celów dydaktycznych w różnych dziedzinach, w tym i astronomii. Tu, oddziaływania konkursowe dotyczą

na ogół bardzo małej ilości osób, które mają to szczęście, że ktoś się nimi wcześniej odpowiednio astronomicznie zaopiekował. Ścisłej, konkursy właściwie dotyczą zarówno uczniów, jak i ich opiekunów. Dobre osiągi cieszą i zawodników i trenerów, jak w sporcie. Dlatego ze wszech miar warto organizować konkursy. Tych nigdy dość. Wypada nimi aktywizować wszystkie środowiska, od przedszkolaków do emerytów. Poziom konkursu musi być na miarę możliwości uczestników. Na innym poziomie będzie olimpiada astronomiczna, adresowana do uzdolnionej młodzieży przed maturą, a na innym konkurs adresowany do dzieciaków ze szkoły podstawowej. Tak jak w innych formach oddziaływań dydaktycznych z zakresu astronomii, w konkursach należy łączyć treści czysto astronomiczne z treściami dotyczącymi eksploracji kosmosu. Astronomia i astronautyka wzajemnie się motywują i wspomagają. Czy astronautyka rozwinęłaby się kiedykolwiek bez astronomii? Gdzie byłaby współczesna astronomia bez możliwości przeprowadzania obserwacji nieba z kosmosu? Można też organizować konkursy odwołujące się do treści estetycznych przybliżanych przez astronomię i astronautykę. Dobrym przykładem są organizowane coraz częściej konkursy artystyczne o treściach astronomicznych (np. konkurs *Ars Astronomica* organizowany corocznie przez AN). W powszechnej edukacji astronomicznej chodzi mniej o nauczenie skomplikowanych formalizmów badawczych, a więcej o rozbudzenie w człowieku *gwiazdnej duszy*, jak to pięknie wyrazili młodzi ludzie w jednym z utworów przysyłanych na konkurs *Ars Astronomica*. Taka *gwiazdna dusza* jednego zaprowadzi do teleskopu, innego do statku kosmicznego, innego do laboratorium, a innych ku jeszcze innym obszarom aktywności, wrysowujących się w ogólnoludzki proces dojrzewania dla spraw nieba.

W każdym konkursie wyłania się najlepszych, których jakoś wypada nagrodzić. Rozwaga organizatorów, choć nie mniej potrzebna na każdym z etapów przygotowania i realizacji konkursu, powinna być przy nagradzaniu wciąż czynna. Nagroda ma być odpowiednio dobrana pod względem treściowym jak i wartościowym. Wartość nagrody w żadnym razie nie powinna być wygórowana. Konkurs astronomiczny ma być na podobieństwo sportu amatorskiego, nie zawodowego! Nie jest zdrowo, jeśli astronomię uprawia się dla zysku materialnego. To raczej posiadane własne dobra materialne warto zainwestować dla rozwoju astronomii. Dotykamy tu samego sedna. Zawczasu trzeba uzmysławiać uczniom, że zgłębianie astronomii nie jest dochodowym zajęciem. Astronomię zgłębiasz, bo chcesz być mądrzejszym i lepszym człowiekiem, a nie dla pieniędzy. Inne intencje, choćby tylko na poziomie udziału w konkursie, nie służą dobrze astronomii. Raczej sprzyjają jej profanacji.

Innowacje w nauczaniu astronomii

Pod naporem medialnym zdawać by się mogło, że świat ostatnio oszalał na punkcie innowacji! Miałem przyjemność kiedyś uczestniczyć w ogólnoświatowej konferencji poświęconej edukacji w zakresie astronomii (St Petersburg,

2004). Specjaliści z różnych kontynentów prezentowali sposoby organizacji edukacji astronomicznej w ich obszarach kulturowych. Prelegenci z Europy Zachodniej (w tym z Polski) oraz z USA celowali w prezentacjach najróżniejszych, często nieodpowiedzialnych i wręcz jarmarcznych, innowacji w zakresie nauczania astronomii. Na koniec wystąpił profesor Uniwersytetu Petersburskiego i zreferował wyczerpująco, jak uczy się astronomii w Rosji – od szkoły podstawowej, aż po finał nauczania uniwersyteckiego. Dla mnie była to w większości powtórka tego, co pamiętałem z czasów PRL. Byłem wewnętrznie podbudowany tym, że jeszcze gdzieś uczy się dobrze astronomii. Ale inny polski uczestnik (nie astronom), po zakończonym wykładzie rosyjskiego astronoma, żywiołowo się oburzył na brak innowacyjności i pozostawanie przy starych metodach edukacji w Rosji. Nie stronił nawet od niegrzecznych sformułowań. Profesor jednak nie dał się sprowokować i ze stoickim spokojem odparł atak stwierdzeniem: „jeśli jest coś dobre, nie potrzebuje zmian”. Szmer sali, jaki powstał po atakującej wypowiedzi, został stłumiony silnymi brawami dla sędziwego astronoma!

W Polsce za czasów PRL uczono dobrze wszystkiego, w tym i astronomii. Nie jest to tylko moje spostrzeżenie. Jamie Doran i Piers Bizony, w swojej książce *Gwiazdny bohater* o Juriju Gagarinie, stwierdzają wprost, że ludzie którzy w systemie nauczania radzieckiego zrobili maturę, byli lepiej wykształceni niż absolwenci Harvardu. W amerykańskim rozumieniu sukcesy radzieckie w zakresie podboju kosmosu były naturalną pochodną największego osiągnięcia tego systemu, jakim była właśnie oświata.

Najlepszym lekarstwem na uzdrowienie edukacji w Polsce, w tym astronomicznej i astronautycznej, byłby powrót do systemu oświaty z lat 70-tych zeszłego stulecia. Problem w tym, że dla bliżej nieokreślonych kręgów decydenckich, jest to z jakichś powodów niewygodne. Pod przykrywką innowacji i unowocześniania systemu edukacji, oświata narodowa w trybie galopującym ubożeje, a wycofanie treści astronomicznych z programów nauczania jest tylko przysłowiową „kroplą w morzu” niekorzystnych przemian.

Towarzystwa Astronomiczne

Problem edukacji w zakresie astronomii jest często podejmowany przez organizacje pozarządowe, jak np. towarzystwa czy fundacje astronomiczne i astronautyczne. Zależnie od rangi organizacji uaktywniają się one na różnych poziomach przekazu. Organizują konferencje naukowe, wydają czasopisma i książki, realizują filmy, pomagają organizować pozaszkolne i szkolne obserwatoria astronomiczne, organizują konkursy, wystawy, warsztaty i pokazy. Wypracowują też propozycje programowego nauczania astronomii i przedstawiają je centralnym władzom rządowym. I chociaż władze na ogół nie traktują tych propozycji z należytą powagą, to nie mogą przed społeczeństwem udawać, że problemu nie ma.

Uwagi końcowe

Choć zasadność organizacji powszechnego dostępu do rzetelnej wiedzy astronomicznej i astronautycznej, wyprowadzana z racji obiektywnych, zdaje się być oczywista, to polityka oświatowa w Polsce na przestrzeni ostatnich 30 lat zdaje się jej jawnie przeczyć. Trudno uwierzyć, że zaniedbania w programowym państwowym nauczaniu wynikają tylko z braku świadomości środowisk rządowych odpowiedzialnych za edukację narodu. Można wręcz podejrzewać, że komuś u góry zależy na utrzymywaniu i pogłębianiu ciemnoty społeczeństwa, zwłaszcza w najbardziej strategicznych obszarach wiedzy.

Jest w świecie dość dobrych przykładów, jak solidna edukacja astronomiczna owocuje. Choćby na Ukrainie, gdzie do dziś istnieje solidny podręcznik astronomii dla gimnazjów, i gdzie programowo i kompetentnie naucza się astronomii. No ale ta Ukraina zbudowała sobie samodzielnie kilka elektrowni jądrowych i była naukowym i technologicznym liderem radzieckiego programu kosmicznego. Ich największy samolot świata, zbudowany do przenoszenia wahadłowca Burana, do dziś lata i zadziwia wszystkich. A to tylko namiastka tego, czego dokonano w tym kraju na przestrzeni zaledwie kilku dekad przez dobrze wykształconych ludzi.

Od lat nauczam podstaw astronomii studentów fizyki. Ostatnio w grupie znalazło się kilka osób z Ukrainy. Mimo bariery językowej, studenci ukraińscy łapali w lot przekazywane treści, bo to dla nich była tylko powtórka rzeczy wyuczonych jeszcze w gimnazjum. Polscy studenci przeżywali podwójną traumę; na okoliczność trudności ze zrozumieniem treści oraz wobec wyraźnej przewagi ukraińskich kolegów.

Trzydziestoletnia zapaść polskiej edukacji dziś już negatywnie owocuje. To jeszcze nic, że studenci wyższych uczelni, nie wyłączając Uniwersytetu Jagiellońskiego, nie znają dziś tabliczki mnożenia (ja, dziecko spod strzechy, umiałem te rzeczy biegle w wieku 8 lat). Nic to, że nie potrafią obsłużyć kalkulatora, ani napisać najprostszego komputerowego programu liczącego. Gorsze to, że zdaje im się, że jak tylko UNIA da miliony, to oni potrafią zrobić dla kosmosu lepsze rzeczy niż Rosjanie czy Amerykanie. Żal tych młodych ludzi, żal ich młodzieńczego zapału. Żal pieniędzy podatnika wyrzucanych na marne.

W roku 2010 zlikwidowano w Polsce ośrodki satelitarne w Psarach i w Komorowie. Uratowałem kilka instrumentów od zniszczenia. Cztery z nich zbudowałem w nowych miejscach już kilka lat temu i wiadomość o tym rozeszła się po kraju. Mogłoby się zdawać, że młodzi ludzie rzucą się na te instrumenty. Okazuje się jednak, że nie. Dziś wiem dlaczego; nikt się nie zna na sprawach telekomunikacji kosmicznej nawet tyle, żeby docenić wartość instrumentów. Nikt się też niczego nie chce uczyć. Przyjęła się modna zasada działania: pozyskać pieniądze (duże!) pod pretekstem, że coś się robi, wydać pieniądze pod pretekstem, że się coś robiło, sprawozdać wydatki tak, żeby sobie utorować drogę do następnych (większych!) pieniędzy. Najlepiej, jak się jest

młodym, niedouczone, umie się bić pianę, i mocno pragnie się dużych pieniędzy. Do tego dobrze skrojony garnitur i elegancki krawat, dla zatuszowania braku wykształcenia magisterskiego, choćby w dowolnie odległej od kosmosu dziedzinie i choćby na jakiejś prywatnej uczelni.

Widać, można i tak. Można budować Polskę na ciemnocie jej obywateli. Ale dokąd to zaprowadzi, może przewidzieć nawet analfabeta!



Autor przy modelu statku kosmicznego Orion w ESTEC.

Część trzecia

(artykuły popularnonaukowe)



Lidia Chinarova

Просторы Вселенной раскроют объятья
Мерцанием звезд, манящих в даль
Звучанием мелодии игривой иль спокойной
Ничто не даст тебе забыть свои мечты
Ни долгий путь к прозрению
Ни мир фантазий иллюзорный
Под звездным небом, в тиши ночной
Ты вдруг услышишь музыку в себе
В познании себя - познание Мироздания.
И просторы Вселенной откроют объятья,
Но лишь тем, кто способен их оценить.
Пространство и время достойно познанья
Ради которого нам стоило жить!

Lidia Chinarowa jest zawodowym astronomem w Obserwatorium Astronomicznym Nacjonalnego Uniwersytetu w Odessie. Bada gwiazdy zmienne. Jest członkinią AN. W wolnych chwilach maluje obrazy o treściach astronomicznych, pisze powieści fantastyczne oraz pisze wiersze. Powyżej zamieszczamy te, które zgłosiła na VII konkurs *Ars astronomica* (przyp. red. BW).

Мир вспыхнул вдруг
И в танце закружил.
Восторгом, смехом,
Теплым светом
Переполяется душа,
Все радует меня вокруг,
Но краток миг забвенья.
И как печально пробуждение-
Ведь это только сновиденье.

Марс

Кружась во мгле, летит планета
Без цели, без мечты, в тиши,
Забыв и красочность рассвета,
И гомон жизни в забытыи.

В пучине времени бескрайней,
Познав стихии беспредел,
Летит своей дорогой дальней,
Среди таких же мертвых тел.

Преобразился лик планеты,
Но помнят камни и пески
И стон природы - шепот ветра,
Долины, реки и ручьи.

Теперь Марс - красная планета
Гоняет ржавые пески.
А Страх и Ужас в небе где-то
Взирают на следы войны.

В раздумье он летит, как
прежде:
«Увы, возврата к жизни нет»!
Летит, лишь теплится надежда
Среди взрослеющих планет.

Władimir Platonowicz Cesewicz

Ivan L. Andronov

Department of Mathematics, Physics and Astronomy, Odessa National Maritime University

Abstract

The history of astronomy in Odessa is briefly discussed with a special emphasis on the scientific school of variable star researches founded by Prof. Vladimir P. Tsesevich.

Streszczenie

Przedstawiono krótką notkę o Władimirze P. Cesewiczu (11.10.1907 – 28.10.1983), liderze astronomii w Odessie w latach 1944-1983, wraz z kierunkami badań, głównie w zakresie gwiazd zmiennych, prowadzonych przez członków założonej przez niego szkoły naukowej. Kierunki te obejmują wiele typów gwiazd zmiennych; zarówno w zakresie samych obserwacji jak i modelowania numerycznego. Profesor Cesewicz był nie tylko skrupulatnym naukowcem i błyskotliwym pedagogiem, ale też wspaniałym wychowawcą, inteligentnym popularyzatorem i wytrwałym organizatorem.

Władimir Platonowicz Cesewicz urodził się w Kijowie 11.10.1907. Jego ojciec, Cesewicz Platon Iwanowicz, był znanym śpiewakiem operowym. Jego piękne piosenki można znaleźć w Internecie. Matka, Kuzniecowa Elizawieta Aleksandrowna, była aktorką operową, później pedagogiem. W. P. Cesewicz rozpoczął edukację na Uniwersytecie Państwowym w Leningradzie w wieku prawie 15 lat i wybrał gwiazdy zmienne, jako główny kierunek studiów. Pierwsza praca oparta na obserwacjach Cesewicza ukazała się w 1922 roku. Sam Cesewicz nie był jednak jej współautorem. Dopiero rok później opublikował on swoją pierwszą pracę w *Astronomische Nachrichten*.

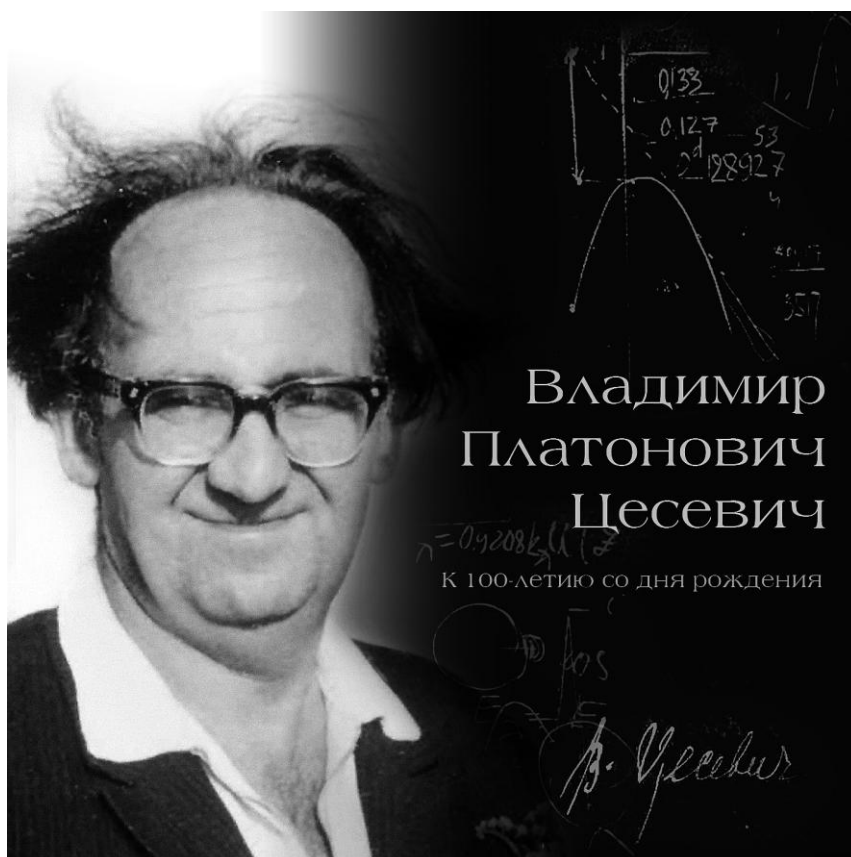
Opiekunem jego studiów doktoranckich był G. A. Tichow, znany astronom, którego badania dotyczyły głównie Marsa. Po okresie leningradzkim, w latach 1933-1937, Cesewicz był dyrektorem Tadżykistańskiego Obserwatorium Astronomicznego. W latach 1937-1942 pracował znów w Leningradzie. Potem, został ewakuowany do Duszanbe, gdzie pracował jako profesor. W 1944 roku przeniósł się do Odesskiego Uniwersytetu Państwowego.

Pod jego nadzorem początkowo małe obserwatorium astronomiczne w Odessie stało się jedną z wiodących instytucji astronomicznych. W międzynarodowym roku geofizycznym 1957 powstały podmiejskie stacje astronomiczne w Majakach i Krzyżanówce, później na kaukaskiej górze Terskol i w Duszanbe (obecnie Tadżykistan). Już po śmierci Cesewicza, 1-m lustro wykonane w Odessie, zostało zainstalowane w Vihorlat National Telescope (VNT) na Słowacji. Teleskop jest wykorzystywany w wielu programach badawczych, w tym również w trybie międzynarodowym z Ukrainą i Polską.

Cesewicz zapoczątkował wydawanie czasopisma *Izvestiya Astronomicieskoj Observatorii* (od 1947 r.), które od 1992 roku jest publikowane po angielsku, jako *Odessa Astronomical Publications* (OAP). W 2017 wydany został jubileuszowy 30 tom (<http://oap.onu.edu.ua>).

W 1948 roku Cesewicz został wybrany na członka korespondenta Ukraińskiej Akademii Nauk, a w latach 1948-50, pełnił funkcję dyrektora Głównego Obserwatorium Astronomicznego Ukraińskiej Akademii Nauk.

W pamięci uczniów Cesewicz pozostał jako człowiek niezwyklej energii i entuzjazmu. Opublikował 759 prac (Dziubina i Rikun, 1988), w tym 22 monografie. Studentom wykładał m.in. astrofizykę relatywistyczną. Jego wykłady były urzekające i ekscytujące. Brzmiały jak poezja. Wyprowadzał wiele skomplikowanych formuł z pamięci, często przedłużając wykład. Dobrze obrazował proces twórczy i uczył nie bać się trudnych wyzwań. Stawiając sobie ambitne zadania był wymagający wobec innych. Szukał nowych rozwiązań i pomysłów w dziedzinie astronomii oraz inicjował nowe kierunki badań. Jego ostatnią naukową pasją był magnetyczny, kataklizmiczny układ podwójny gwiazd AM Herculesa. Pierwsze artykuły ukazujące ekstremalnie egzotyczny charakter tego układu zostały opublikowane prawie czterdzieści lat temu (Andronov, Vasilieva i Tsesevich, 1980).



Plakat z okazji setnej rocznicy urodzin Cesewicza.

Cesewicz był opiekunem przeszło czterdziestu doktoratów, tworząc tym samym własną szkołę naukową w zakresie gwiazd zmiennych. Poza tym, że

był dyrektorem obserwatorium astronomicznego Odesskiego Państwowego (obecnie Narodowego) Uniwersytetu (ONU) i katedry Astronomii Wydziału Fizycznego ONU, wykładał też w wielu innych instytucjach, w tym przez pięćnaście lat (1952-1967) w Odesskim Narodowym Uniwersytecie Morskim (ONMU), gdzie był nawet szefem katedry Matematyki Wyższej.



Studenci I roku astronomii Uniwersytetu Odesskiego (1975). Profesor Cesewicz jest w centrum, a autor tego artykułu jest nieco w górze i w prawo. Troje spośród studentów na tym zdjęciu zostało doktorami nauk fizycznych i matematycznych, a pięcioro innych uzyskało PhD.

Wśród monografii Cesewicza można znaleźć nie tylko katalogi gwiazd, ale np. *Gwiazdy zmienne i metody ich obserwacji* (Tsesevich, 1970, 1980), *Gwiazdy zmienne zaćmieniowe* (Tsesevich, 1971), *Gwiazdy typu RR Lyrae* (Tsesevich, 1969). Najbardziej popularną książką Cesewicza jest *Co i jak obserwować na niebie* (Tsesevich, 1984). Książka była wydana sześć razy, ostatnio w 1984 roku, i jest uważana za jedną z najlepszych pozycji astronomicznych.

Na Uniwersytecie Harvardzkim Cesewicz dokonał wielu obserwacji wizualnych na zgromadzonych w tamtejszym archiwum kliszach fotograficznych. Współpracował również z krakowskimi astronomami. W 1972 roku wybitny polski astronom Kazimierz Kordylewski odwiedził Odessę, co zainicjowało wspólny kierunek badań. Specjalna grupa obserwatorów na stacji Majaki pracowała nad określeniem ekstremów jasności grupy gwiazd typu RR Lyr z obserwacji wizualnych, fotograficznych i fotoelektrycznych, które zostały potem opublikowane w *Roczniku Astronomicznym Obserwatorium Krakowskiego*. Zapoczątkowana przez Cesewicza współpraca z polskimi astronomami trwa

do dziś, a angażują się w nią ze strony polskiej Bogdan Wszolek, Stanisław Zoła, Włodzimierz Godłowski, Ryszard Szczerba, Piotr Flin, Edwin Wnuk, Janusz Jagła, Dominik Pasternak i inni. Niektóre wyniki tej współpracy zostały przedstawione przez Andronova i in. (2003, 2010, 2014, 2017).



Kazimierz Kordylewski i Władimir P. Cesewicz
w Obserwatorium Astronomicznym w Majakach pod Odessą.

W 2017 roku odbył się szereg wydarzeń naukowych z okazji sto dziesiątej rocznicy urodzin Cesewicza: międzynarodowa konferencja Gamowska (Odessa, 13-18.08.2017, <http://gamow.odessa.ua>); konferencja *Modelowanie matematyczne, procesy fizyczne i obiekty astronomiczne* ze współautorami zagranicznymi (Odessa, 11.10.2017), spotkanie Ukraińskiego Stowarzyszenia Astronomicznego (Kijów, 25.10.2017) oraz spotkanie w Odesskim Domu Naukowców (Odessa, 27.10.2017).

Wyszukiwarka Google dla hasła «В.П.Цесевич» daje 33700 wpisów, z których w kontekście wspomnień warto sięgnąć m.in. po: Volyanska, Karetnikov i Mandel (2007), Vavilova (2017), Andronov (2003, 2017), Samus (1988, 2007), Bezdenezhnyi (2007).

Na stronie: <https://www.strudel.org.uk/blog/astro/000943.shtml>, zawierającej *Astronomer H-R diagram*, V.P.Tsesevich (Cesewicz) znajduje się w lewej górnej części, tuż pod tytułem "Akademiccy giganci". Asteroida 2498 (odkryta 23.08.1977 przez profesora Chernykha w Krymskim Obserwatorium Astrofizycznym) została nazwana "Tsesevich".

ECLIPSING VARIABLE STARS

V. P. Tsesevich, Editor

Translated from Russian by R. Hardin



A HALSTED PRESS BOOK
JOHN WILEY & SONS
NEW YORK-TORONTO

ISRAEL PROGRAM FOR SCIENTIFIC TRANSLATIONS
JERUSALEM

Strona tytułowa jednej z ważniejszych książek Cesewicza.



Trzy Katarzyny – wnuczki Cesewicza. W środku K. Bakowa (wnuczka biologiczna), z lewej i prawej odpowiednio K. Andrych i K. Kozyska (wnuczki naukowe).

Literatura

- Andronov I. L., 2003, OAP 16, 5
Andronov I. L., 2017, OAP 30, 252 (<https://arxiv.org/abs/1712.08489>)
Andronov I. L. i in., 2003, A&AT 22, 793
Andronov I. L. i in., 2010, OAP 23, 8
Andronov I. L. i in., 2014, AASP 4, 3
Andronov I. L. i in., 2017, ASPC 511, 43
Andronov I. L., Vassilieva S. V., Tsessevich V. P., 1980, ATsir 1122, 1
Bezdenzhnyj V. P., 2007, OAP 20, 15
Dziubina S. V., Rikun I. E., 1988, "Uchenye Odessy. Vladimir Platonovich Tsessevich (1907-1983)" (Odessa) 110
Flin P., 2007, OAP 20, 40
Samus N. N., 1988, IAIss 20, 216
Samus N. N., 2007, OAP 20, 193
Tsessevich V. P., 1969, "RR Lyrae Stars", Moskwa, Nauka
Tsessevich V. P., 1970, "Peremennye zvezdy i sposoby ikh issledovaniia.", Moskwa, Nauka, 240
Tsessevich V. P., 1971, "Instationary stars and methods of their investigation. Eclipsing variables", Moskwa, Nauka, 352
Tsessevich V. P., 1980, "Peremennye zvezdy i ikh nabliudenie", Moskwa, Nauka
Tsessevich V. P., 1984, "What and How to Observe in the Sky", Moskwa, Nauka
Tsessevich V. P., 1984, "O Vremeni i o Sebe: Vospominaniya i Dokumenty", Odessa, Astroprint, 80
Vavilova I. B., 2017, OAP 30, 256
Volyanska M. Yu., Karetnikov V.G., Mandel O. E., 2007, OAP 20, 6



Ivan L. Andronov podczas wykładu o profesorze Cesewiczu w OAKJ w Rzepienniku Biskupim (*Astrophisica Nova*, wrzesień 2017).

Zaćmienia Słońca w Częstochowie

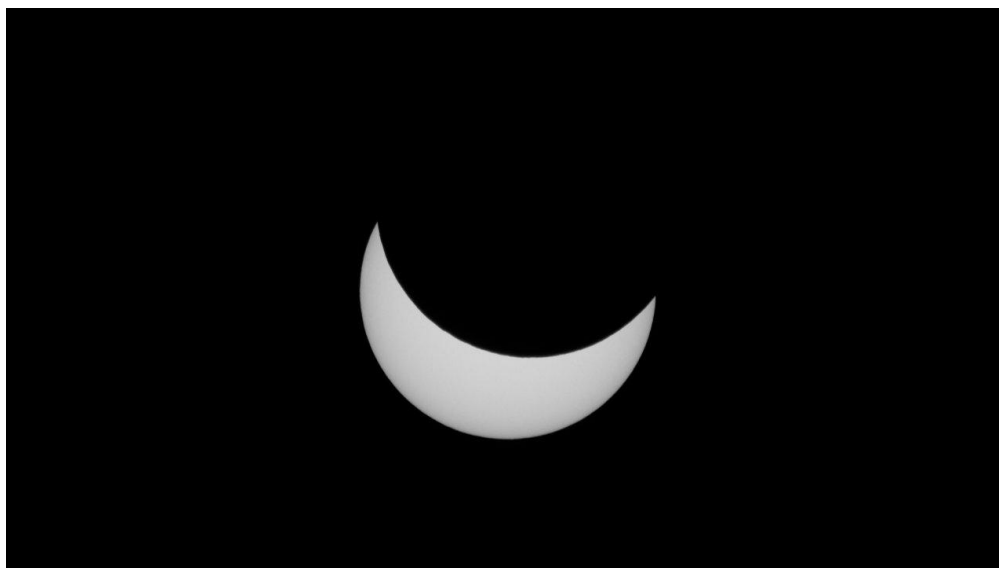
Grzegorz Czepiczek, Jagoda Grabowska

Częstochowski Oddział PTMA

W dniu 21 sierpnia 2017 w USA miało miejsce całkowite zaćmienie Słońca. Obserwowało go ponad 20 milionów osób z całego świata, w tym wielu Polaków. Zaćmienie rozpoczęło się o 16:49 UT na Pacyfiku, a zakończyło się o 20:03 UT na Atlantyku. Pas całkowitego zaćmienia przecinał terytorium USA od zachodniego do wschodniego wybrzeża. Bardzo dobrą relację z tego zaćmienia opracowała NASA TV. Fazę całkowitą zaćmienia pokazano z kilku różnych stanowisk oraz z pokładu samolotu, który wykonał serię obserwacji. Nagranie można obejrzeć na stronie:

<https://www.nasa.gov/eclipselive#NASA+TV+Public+Channel>

Kolejne całkowite zaćmienie Słońca będzie miało miejsce dopiero 2 lipca 2019 roku i obejmie swym zasięgiem duży obszar Ameryki Południowej, w Polsce znów nie będzie widoczne. Najbliższe zaćmienia częściowe wystąpią 15 lutego, 13 lipca i 11 sierpnia 2018 roku i również pominą obszar Europy Środkowej. Głębokie zaćmienie częściowe widoczne z całego terytorium Polski zobaczymy dopiero 25 października 2022 roku. Zaćmienie częściowe występuje, gdy obserwator nie znajduje się wystarczająco blisko przedłużenia linii łączącej Słońce i Księżyc, by znaleźć się całkowicie w cieniu Księżyca, lecz na tyle blisko, że znajduje się w półcieniu. Zaćmienia częściowe trwają maksymalnie około 3.5 godziny. Ostatnie zaćmienie tego typu obserwowano w Częstochowie 20 marca 2015. Następne będzie 10 czerwca 2021 roku.

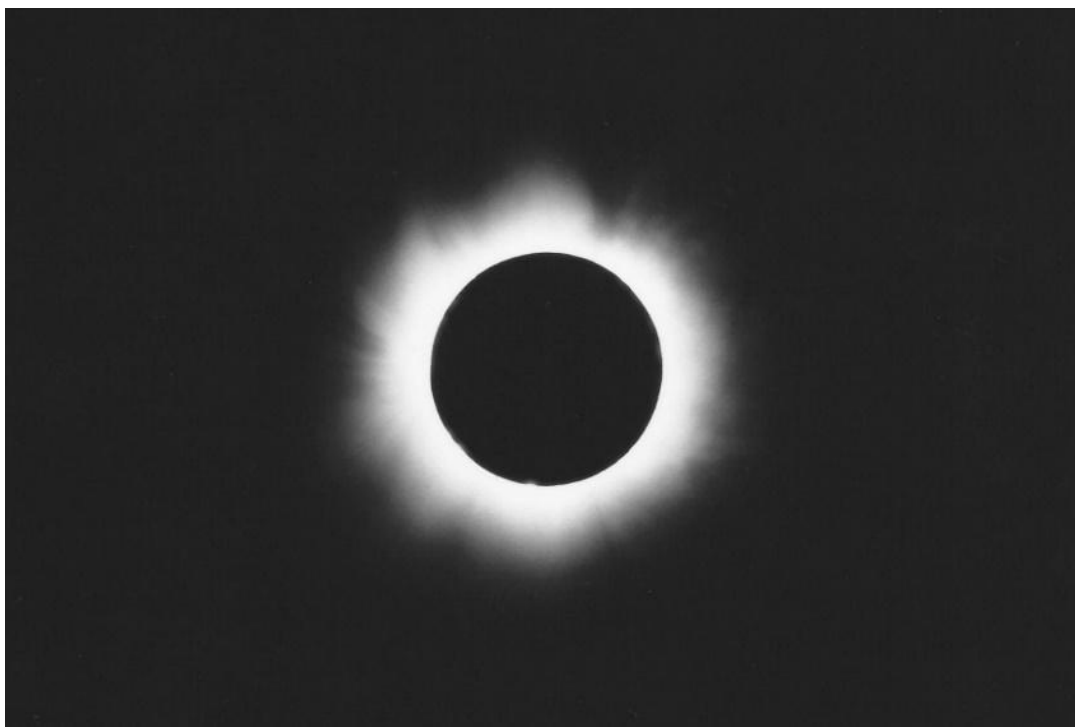


Maksymalna faza częściowego zaćmienia Słońca w Częstochowie
w dniu 20 marca 2015 o godz. 9:52 UT. (fot. G. Czepiczek)

Zaćmienie całkowite występuje, gdy obserwator znajduje się w cieniu Księżyca. Przeciętna szerokość pasa zaćmienia całkowitego w rejonach równikowych wynosi około 100 km, maksymalna zaś blisko 270 km. W rejonach

okołobiegunowych, gdzie stożek cienia Księżyca pada na Ziemię zawsze pod małym kątem, może ona zwiększyć się do 600 km. Maksymalny czas trwania zaćmienia całkowitego wynosi 7^m31^s.

Po raz ostatni całkowite zaćmienie w obecnych granicach Polski obserwowano 30 czerwca 1954 roku. Niewielki pas tego zaćmienia przebiegał w rejonie Suwałk. Następne całkowite zaćmienie Słońca widoczne w Polsce nastąpi 7 października 2135 roku. Pas całkowitego zaćmienia będzie przechodził m.in. przez Wrocław, Katowice i Kraków. Częstochowę niestety minie.



Całkowite zaćmienie Słońca na Węgrzech z 11 sierpnia 1999. (fot. G. Czepiczek)

Gdy rozmiar kątowy Księżyca jest mniejszy od rozmiaru kątowego tarczy Słońca może się zdarzyć zaćmienie obrączkowe. Szerokość pasa zaćmienia obrączkowego sięga 370 km, ale w obszarach okołobiegunowych może być znacznie większa. Maksymalny czas trwania zaćmienia obrączkowego wynosi 12^m30^s. Po raz ostatni tego typu zaćmienie można było obserwować na północnych ziemiach Polski w dniu 15 maja 1836, a następne będzie widoczne w dniu 13 lipca 2075 roku. To zaćmienie będzie widoczne m.in. w Krakowie, Rzeszowie oraz w Częstochowie.

Obliczanie terminów zaćmień, które były/będą widoczne w danym miejscu, np. w Częstochowie, jest skomplikowane. Istnieje jednak strona NASA (<https://eclipses.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-EU.html>), która daje możliwość dokonania takich obliczeń. Okazuje się, że całkowite zaćmienia Słońca ostatni raz w obecnych granicach miasta Częstochowy miały miejsce 7 czerwca 1415 od 06:12:22 do 06:16:14 oraz 26 czerwca 1424 od 15:30:59 do 15:33:29. Następne będą widoczne 22 lipca 2381 roku od 10:50:47 do 10:55:34. Ostatnie zaćmienie obrączkowe było widoczne w Częstochowie 1 października 1502 roku od 06:52:56 do 06:54:56 oraz 25 lipca 1748 roku od 11:12:41 do

11:17:17. Najbliższe zaćmienia obrączkowe Słońca będą widoczne w Częstochowie 23 lipca 2093 od 12:59:24 do 13:02:50, 5 listopada 2431 od 12:59:24 do 13:02:50.



Pas zaćmienia obrączkowego w okolicach Polski w dniu 23 lipca 2093.



Pas zaćmienia całkowitego w okolicach Polski w dniu 22 lipca 2381.



Pas zaćmienia obrączkowego w okolicach Polski w dniu 5 listopada 1243.

(Wszystkie czasy podano w czasie uniwersalnym UT. Mapy przebiegu cienia Księżyca na Ziemi wygenerowano za pomocą programu astronomicznego Occult oraz w Google Earth)

Pół wieku od śmierci Jurija Gagarina

Jacek Kruk

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie

27 marca 1968 roku w katastrofie lotniczej zginął pierwszy kosmonauta świata Jurij Gagarin. Miał zaledwie 34 lata, a od jego historycznego lotu upłynęło niecałe siedem lat... Ta śmierć wywołała szok nie tylko w Związku Radzieckim, ale w całym obozie państw socjalistycznych, do których należała i nasza Polska Ludowa. Autor tych słów jako 14-letni chłopiec przeżył tę tragiczną wiadomość, zachwiała ona wówczas jego wiarą, że Rosjanie pierwsi wylądują na Księżycu. W swej prostoduszności sądził bowiem, że jeśli radziecki kosmonauta stanie na Księżycu, z pewnością będzie nim Jurij Gagarin. Warto przypomnieć, że wyścig księżycowy trwał wówczas w najlepsze, a jego wynik wcale jeszcze nie był przesądzony.



Siergiej Korolow (1907-1966)

Gagarin, podobnie jak pierwszy sztuczny satelita Ziemi – słynny Sputnik, był symbolem przewagi naszego obozu nad światem Zachodu. Podbój kosmosu zaczął się w Związku Radzieckim i aż do 1966 roku Rosjanie dyktowali warunki wyścigu kosmicznego. Ale właśnie na początku 1966 roku miało miejsce fatalne zdarzenie, które zapoczątkowało serię niepowodzeń w radzieckim programie kosmicznym. Twórca tego programu i autor jego największych sukcesów – Siergiej Korolow – 14 stycznia 1966 roku zmarł

w wyniku nieudolnie przeprowadzonej operacji usunięcia nowotworu. Korolow był nie tylko genialnym konstruktorem raketowym, ale prawdziwym wizjonerem wytyczającym kierunki rozwoju kosmonautyki oraz autorytetem, z którym liczyli się wszyscy radzieccy decydenci łącznie z najwyższymi władzami partyjnymi i państwowymi. Gdy go zabrakło, te właśnie władze wymuszając kolejny sukces kosmiczny w kwietniu 1967 roku doprowadziły do tragedii.



Władimir Komarow (1927-1967)

Następca pierwszych załogowych Wostoków i Woschodów – statek Sojuz – nie był jeszcze dopracowany, ale najwyższe władze zażądały, by pierwszą jego misją było załogowe połączenie na orbicie wraz z przejściem kosmonautów z jednego statku do drugiego. Sojuz-1 z kosmonautą Władimirem Komarowem wystartował 23 kwietnia 1967 roku i miał oczekiwać na orbicie na spotkanie z trzyosobowym Sojuzem-2 dowodzonym przez Walerego Bykowskiego. Jego towarzysze Aleksiej Jelisiejew i Jewgienij Chrunow mieli przejść przez otwartą przestrzeń kosmiczną do statku Komarowa i wraz z nim wrócić na Ziemię, po czym Bykowski miał wylądować samotnie w Sojuzie-2. Ten niezwykle ambitny plan nie został jednak zrealizowany, gdyż na pokładzie Sojuza-1 tuż po wejściu na orbitę wystąpił szereg awarii. Start Sojuza-2 odwołano, a Komarow zmagając się z kolejnymi awariami przyrządów próbował sprowadzić swój statek na Ziemię. Niestety podczas lądowania zawiodły spadochrony i statek rozbił się, a jego pilot poniósł śmierć na miejscu. Dodajmy nawiasem, że dublerem Komarowa w tym feralnym locie był... Jurij Gagarin.

Był to pierwszy śmiertelny wypadek w radzieckim załogowym programie kosmicznym, wypadek, który w opinii większości ekspertów nie miał prawa się zdarzyć za życia Siergieja Korolowa. Misję tę dwa lata później przeprowadzono pomyślnie ze statkami Sojuz-4 i Sojuz-5, aczkolwiek przechodzenie z jednego pojazdu do drugiego przez otwarty kosmos było już wówczas anachronizmem. Amerykańscy astronauta ćwicząc na orbicie wokółziemskiej operacje misji księżycowej przechodzili ze statku macierzystego Apollo do lądownika księżycowego przez wewnętrzny właz w węzle cumowniczym. Tymczasem w programie radzieckiej misji księżycowej było przejście kosmonauty ze statku macierzystego do lądownika poprzez otwartą przestrzeń kosmiczną. Miało się ono odbyć na orbicie wokółksiężycowej, podobnie, jak powrót kosmonauty do statku macierzystego po wykonaniu lądowania na powierzchni i ponownym połączeniu na orbicie wokół Księżyca.

Wróćmy jednak do Gagarina, który otarł się o śmierć w kwietniu 1967 roku. Wyznaczenie go na dublera w pierwszym locie Sojuza miało raczej charakter symboliczny i było ustępstwem na rzecz pragnienia Gagarina powrotu do lotów kosmicznych. Po wypadku Sojuza-1 oczywistym stało się odsunięcie pierwszego kosmonauty od lotów w kosmos, ale nie od pilotowania samolotów. Zwłaszcza, że Gagarin od 1964 roku był zastępcą kierownika Centrum Szkolenia Kosmonautów (CPK), szkolenia, którego nieodłącznym elementem jest doskonalenie pilotażu samolotów myśliwskich.



Jurij Gagarin (z lewej) i Aleksiej Leonow

Wkrótce spodziewano się nominacji Gagarina na szefa CPK, a jego zadania w najbliższych latach miały być szczególnie odpowiedzialne. Wdrażano bowiem nowy statek załogowy, który miał być wykorzystany w trzech zupełnie różnych programach kosmicznych. Po pierwsze statek Sojuz miał dostarczać załogi do przygotowywanych stacji kosmicznych o przeznaczeniu wojskowym (Almaz) i cywilnym (Salut). Po drugie – w przygotowywanej w tajemnicy misji księżycowej - Sojuz miał pełnić funkcję statku macierzystego (odpowiednika statku Apollo w programie amerykańskim, tyle, że w wersji dwuosobowej). I wreszcie, statek ten w wersji pozbawionej przedziału orbitalnego, także dwuosobowej pod nazwą Zond, miał posłużyć do załogowego oblotu Księżyca – ten program był jawny, a w jego ramach przeprowadzono co najmniej cztery w miarę udane misje próbne (bez załogi, choć ze zwierzętami na pokładzie).

17 lutego 1968 roku Jurij Gagarin ukończył Wojskową Akademię Lotniczą im. N. Żukowskiego i obronił pracę dyplomową (aerodynamika lądowania uskrzydłonego statku kosmicznego). Równocześnie złożył wniosek o wznowienie lotów treningowych na myśliwcu MiG-15 UTI (*uczebno-trenirowocznyj istriebitel* – myśliwiec szkoleniowo-treningowy). To dwumiejscowa maszyna, w której na przednim fotelu siedzi szkolony pilot, na tylnym – instruktor. W okresie od 13 do 22 marca 1968 roku Gagarin odbył 18 lotów treningowych o łącznym czasie ponad 7 godzin (w ciągu całej kariery lotniczej nalot Gagarina wyniósł 340 godzin 15 minut). Dwa ostatnie loty z tej serii miały się odbyć właśnie 27 marca, po nich Gagarin miał rozpocząć samodzielne loty na myśliwcu MiG-17. Do feralnego lotu nr 19 Gagarin zasiadł wraz z instruktorem Władimirem Sierioginem, samolot o numerze bocznym 18 wystartował z lotniska Czkałowskij koło Gwiezdnego Miasteczka o godz. 10.19. Po zrealizowaniu zadania w wyznaczonej strefie lotu nr 20, które polegało na wykonaniu dwóch wiraży przy nachyleniu 45 stopni i prędkości 600 km/h, Gagarin poprosił o zezwolenie na powrót na lotnisko. O godz. 10.30 otrzymał zezwolenie, którego odbiór potwierdził i na tym urwał się kontakt radiowy z pilotami.

Gdy samolot w przewidzianym czasie nie dotarł na lotnisko, odwołano wszystkie inne loty i wszczęto poszukiwania maszyny. Dopiero około godz. 14.50 pilot helikoptera patrolujący teren w rejonie Kirzacza dostrzegł czarną plamę w zaśnieżonym zagajniku brzoźowym. Po wylądowaniu na najbliższej polanie i przedarciu się przez głęboki śnieg stwierdził, iż jest to świeży lej wybity przez samolot... W zapadających ciemnościach przybyłe ekipy poszukiwawcze stwierdziły jedynie, że to samolot Gagarina i Sieriogina, jednak ich ciała nie odnaleziono, zatem ciągle jeszcze pozostawała nadzieja, że piloci kapułowali się. Rankiem 28 marca odnaleziono szczątki pilotów i straszna prawda poszła w świat. Do wyjaśnienia przyczyn katastrofy powołano specjalną komisję, przeprowadzono bardzo drobiazgowo badania, zebrano 95% szczątków samolotu. Jednak ostateczna przyczyna katastrofy nie została do

końca wyjaśniona, a raport komisji ujawniono dopiero w 1987 roku. Wynikało z niego, że samolot Gagarina i Sieriogina przy zmianie kursu na lotnisko wpadł w korkociąg i pomimo prób wyprowadzenia go z pikowania zderzył się z ziemią.

Co spowodowało wytrącenie samolotu ze stabilnego lotu? Jako możliwą przyczynę wskazywano zderzenie z ptakiem (ptakami) lub balonem meteorologicznym, błąd pilotażu albo niebezpieczne zbliżenie z innym samolotem, który przypadkowo wtargnął do strefy 20. Żadne z nich nie znalazło jednak materialnego potwierdzenia w szczątkach samolotu czy obrazach radarowych z rejonu lotu MiGa-15. Brak jednoznacznej przyczyny wypadku stał się przyczyną powstania najrozmaitszych pogłosek i teorii spiskowych, o których nie warto nawet wspominać. Wszakże jest jeden świadek, z całą pewnością wiarygodny, który twierdzi, że wywrócenie samolotu Gagarina spowodował bliiski przelot naddźwiękowego myśliwca Su-15, który w sposób niesankcjonowany znalazł się w strefie lotu MiGa-15.

Tym świadkiem jest kosmonauta Aleksiej Leonow, pierwszy człowiek, który wyszedł w otwartą przestrzeń kosmiczną, jeden z najstarszych żyjących kosmonautów. Leonow w tym samym czasie przebywał z grupą spadochroniarzy w rejonie Kirzacza i słyszał zarówno falę uderzeniową naddźwiękowego myśliwca, jak i prawdopodobną eksplozję MiGa przy uderzeniu w ziemię. Zaznaczmy nawiasem, że Leonow trenował z grupą kosmonautów, przygotowujących się do lotu na Księżyc. Był on także członkiem komisji badającej przyczyny wypadku, jednak jego zeznania nie zostały uwzględnione w raporcie. Dopiero w 2013 roku przekonał się, że w utajnionej części raportu znajduje się potwierdzenie jego przypuszczeń dotyczących lotu Su-15, który wystartował z lotniska Żukowskij i miał przelatywać na wysokości 10 km nad ziemią czyli 5.5 km nad strefą lotu Gagarina. Pilot Suchoja wbrew procedurom obniżył lot do 450 m nad ziemią (pod warstwę chmur), a następnie włączył pełny ciąg, by powrócić do swej strefy. Wówczas właśnie doszło do niebezpiecznego zbliżenia na 10-15 m z samolotem Gagarina, piloci lecąc w chmurach nie widzieli się wzajemnie.

Aleksiej Leonow nie domaga się jednak wznowienia śledztwa, ani nie ujawnia też danych pilota Su-15, choć są one mu znane. Pilot, który nieświadomie doprowadził do tragedii Gagarina i Sieriogina, w czasie działania komisji dochodzeniowej najwidoczniej był chroniony przez generalicję, a obecnie – stary i schorowany – jest oszczędzany ze względów humanitarnych. Z drugiej strony trudno sobie wyobrazić, by nie skojarzył on swojego lotu w rejonie Kirzacza z wypadkiem samolotu Gagarina. Pozostanie to już na zawsze sprawą jego sumienia.

Niezależnie od bezpośredniej przyczyny wytrącenia MiGa z ustabilizowanego lotu, wyjaśnienia wymagają dwa zagadnienia: dlaczego nie udało się wyprowadzić samolotu z pikowania i dlaczego piloci nie ratowali się katapultowaniem? Samolot użyty do lotu treningowego miał pod skrzydłami podwieszane dodatkowe baki paliwowe, mimo iż nie były one w tak krótkim locie

potrzebne. Ich obecność w znacznym stopniu ogranicza możliwości manewrowe samolotu, zwłaszcza w zakresie przeciążeń. Ponadto piloci mieli nieaktualne informacje o pułapie chmur, a wysokościomierz ich samolotu działał z opóźnieniem. Możliwe zatem, że po wyjściu z warstwy chmur na wysokości 450 m byli przekonani że mają jeszcze 900 m do ziemi i zdążą wyprowadzić samolot z lotu nurkowego. W sumie niewiele zabrakło – z linii ściętych drzew można szacować, iż 150-200 m, czyli 1-2 sekundy lotu.

Co do katapultowania z MiGa-15 UTI sprawa jest dość jasna: ze względów technicznych najpierw musi to zrobić pilot z tylnego fotela, potem pilot z przedniego, co z kolei z etycznego punktu widzenia jest trudne do zaakceptowania. Instruktor musi katapultować się przed kursantem, ale trudno sobie wyobrazić, by SierioGIN zrobił to nie mając pewności, że Gagarin również zdąży, a w grę wchodziły przecież sekundy! Bezpieczna wysokość katapultowania to 200 m nad ziemią. Badania szczątków obu pilotów wykazały, że po pierwsze obaj byli trzeźwi (co obala pogłoski o innej przyczynie wypadku) i po wtóre, że byli przytomni do samego końca walcząc o uratowanie samolotu i siebie. Wysokie stężenie kwasu mlekowego w ich mięśniach świadczyło właśnie o tym, że były one napięte aż do momentu śmierci. Samolot Gagarina i SierioGINa nie był nowy – wyprodukowano go w Czechosłowacji w marcu 1956 roku, a jego silnik miał już za sobą cztery remonty kapitalne. Tym nie mniej maszyna była całkowicie sprawna, co potwierdziły badania komisji.

Wypadki w lotnictwie zdarzały się odkąd człowiek wynalazł samolot i będą się zdarzać zawsze, bowiem zarówno technika, jak i człowiek są zawodni. Skoro Gagarin musiał latać w związku z pełnioną funkcją zastępcy kierownika Centrum Szkolenia Kosmonautów (a potem samego kierownika), istniało ryzyko wypadku. Ale można je było zmniejszyć do minimum poprzez dopuszczenie do lotów tylko w dobrych warunkach pogodowych i na najlepszym sprzęcie, nie mówiąc już o bezwzględnym strzeżeniu jego strefy lotów. Przypuszczalnie sam Gagarin nie chciałby, by go chroniono bardziej, niż innych lotników, ale i tak nie byłaby to największa dolegliwość, jaką musiał znieść w związku ze swą sławą...

Tak więc odchodzili kolejno Korolow (1966), Komarow (1967) i Gagarin (1968), co ciekawe, te trzy postacie łączyła jeszcze jedna okoliczność. Otóż po śmierci Korolowa i kremacji jego ciała Gagarin postanowił zachować część prochów mistrza, by kosmonauci mogli pochować je na Księżycu. Tę delikatną misję na polecenie Gagarina wykonał w krematorium właśnie Władimir Komarow. Resztę prochów Korolowa pochowano w murze kremlowskim 17 stycznia 1966 roku. Po przedwczesnej śmierci Komarowa, a potem Gagarina, księżycowa urna z prochem Korolowa zaginęła... Ale rosyjscy kosmonauci i tak nie mogliby jej zawieźć na Księżyc, bowiem nigdy tam nie dotarli. W 1969 roku dwukrotnie – 21 lutego i 3 lipca – doszło do eksplozji radzieckiej rakiety księżycowej N-1 podczas startu. W tym drugim przypadku rakietę o masie 2700 ton runęła na wyrzutnię niszcząc ją doszczętnie. Oba feralne starty były oczywiście bezzałogowe – rakietę wynosiła statek macierzysty

wraz z makietą lądownika księżycowego. Tymczasem 16 lipca Saturn V wyniósł w kierunku Księżyca statek Apollo-11 i 20 lipca 1969 roku Księżyc został zdobyty przez amerykańskich astronautów.

Rosjanie przegrawszy wyścig księżycowy stracili zainteresowanie misją załogową, podobnie jak zrezygnowali z załogowego oblotu Księżyca po tym, jak Amerykanie w statku Apollo-8 okrążyli Księżyc w grudniu 1968 roku. Odtąd rosyjscy specjaliści powierzyli szturm Księżyca automatycznym sondom, zaś program załogowy skoncentrowany został na stacjach orbitalnych i lotach długotrwałych. Stacja Salut-1 została wysłana na orbitę w kwietniu 1971 roku, jednak okazała się pechowa, bowiem pierwsza załoga, wysłana do niej w statku Sojuz-10 po zacumowaniu nie zdołała przejść do jej wnętrza, zaś druga spędziła na niej 3 tygodnie, ale zginęła podczas powrotu na Ziemię.



Załoga Sojuza-11, od lewej G. Dobrowolski, W. Pacajew, W. Wołkow.

Wypadek Sojuza-11, w którym 29 czerwca 1971 roku zginęli Georgij Dobrowolski, Wiktor Pacajew i Władysław Wołkow właściwie kończy feralne pięciolecie po śmierci Siergieja Korolowa. I tym razem zawiódł lądownik, lecz nie jego spadochrony, ale zawór wyrównujący ciśnienie w kabinie z ciśnieniem atmosferycznym. Otworzył się na wysokości 170 km, zamiast na wysokości 5 km i załoga zmarła na skutek gwałtownej dekompresji. Zauważmy, że w pierwotnej wersji statku Sojuz załoga nie była wyposażona w skafandry – wprowadzono je dopiero po tragedii z 1971 roku. Wymagało to jednak ograniczenia załogi do dwóch osób. Był to ostatni jak dotąd śmiertelny

wypadek w rosyjskiej kosmonautyce, która w końcu ustabilizowała się i niemal od półwiecza zajmuje się tym samym – lotami załóg w statkach Sojuz do stacji orbitalnych: najpierw Salut, potem Mir i wreszcie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS).



Autor przy urnach z prochami Gagarina i Komarowa w murze Kremla (12 kwietnia 1987).

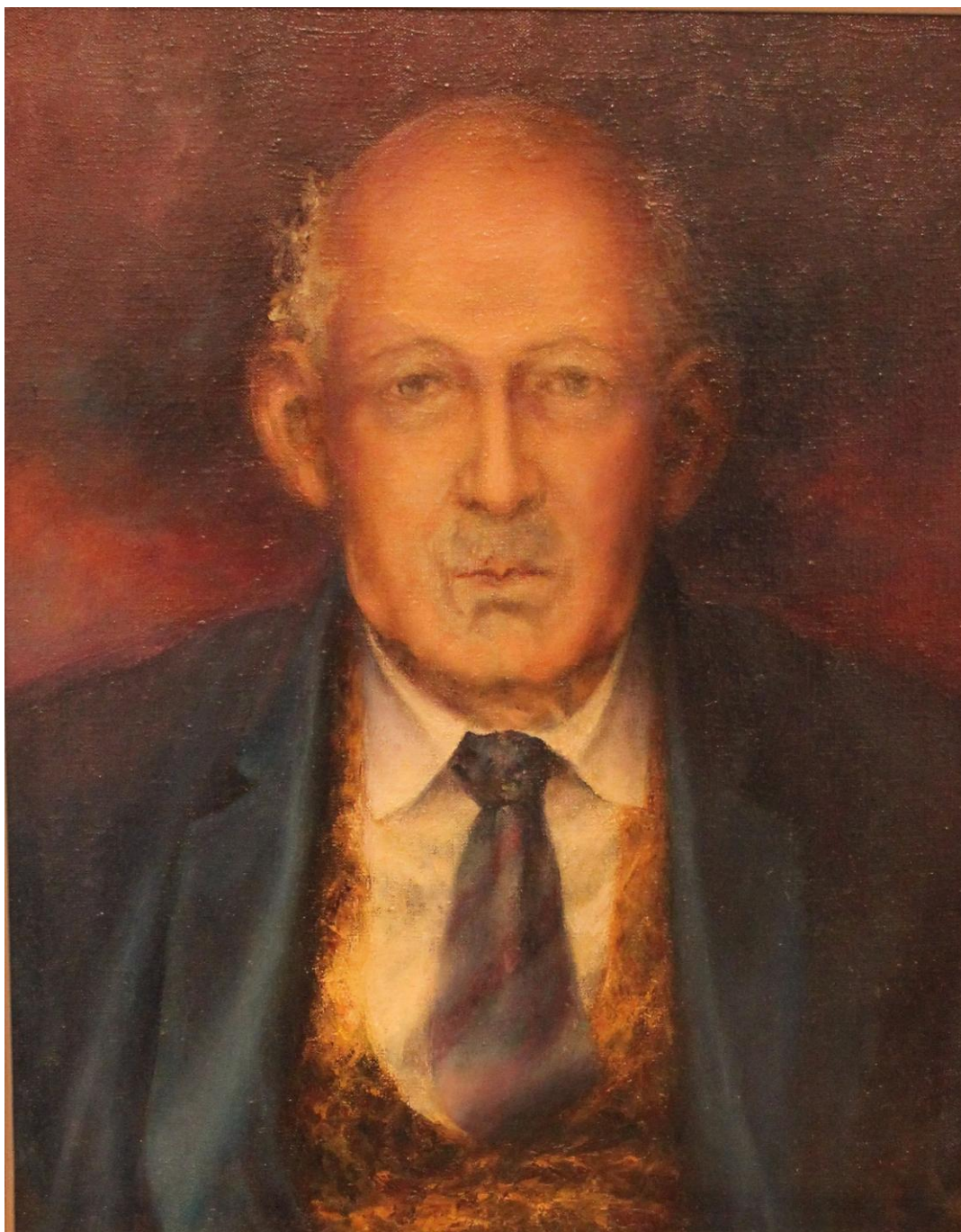
(Wszystkie ilustracje zamieszczone w artykule pochodzą z archiwum autora)

Profesor Eugeniusz Rybka - dyrektor trzech obserwatoriów

Marek Jamrozy

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Inspiracją do napisania tego krótkiego szkicu są rocznice urodzin i śmierci (sto dwudziesta i trzydziesta) profesora Eugeniusza Rybki, przypadające kolejno 6 maja i 8 grudnia 2018 roku. Chciałbym przypomnieć sylwetkę oraz szeroko rozumianą działalność tego wielkiego polskiego astronoma.



Portret profesora Eugeniusza Rybki (1898-1988) znajdujący się w zbiorach Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego. Obraz namalował Marek Ganew, 1979/2014 r., olej na płótnie. (fot. M. Jamrozy)

Przyglądając się biografii Eugeniusza Rybki możemy powiedzieć, że jego życie było „naukową tułaczką” (bardziej eleganckie byłoby użycie modnego dziś określenia „naukowa mobilność”). Owo przemieszczanie się z miejsca na miejsce związane było poniekąd z zawiłą historią Polski, naznaczoną dwiema wojnami światowymi. Życie nauczyło go zaradności i nie poddawania się w sytuacjach, w których niejeden człowiek uległby zwątpieniu. Doświadczenie życiowe z pewnością wykorzystywał w pracy zawodowej.

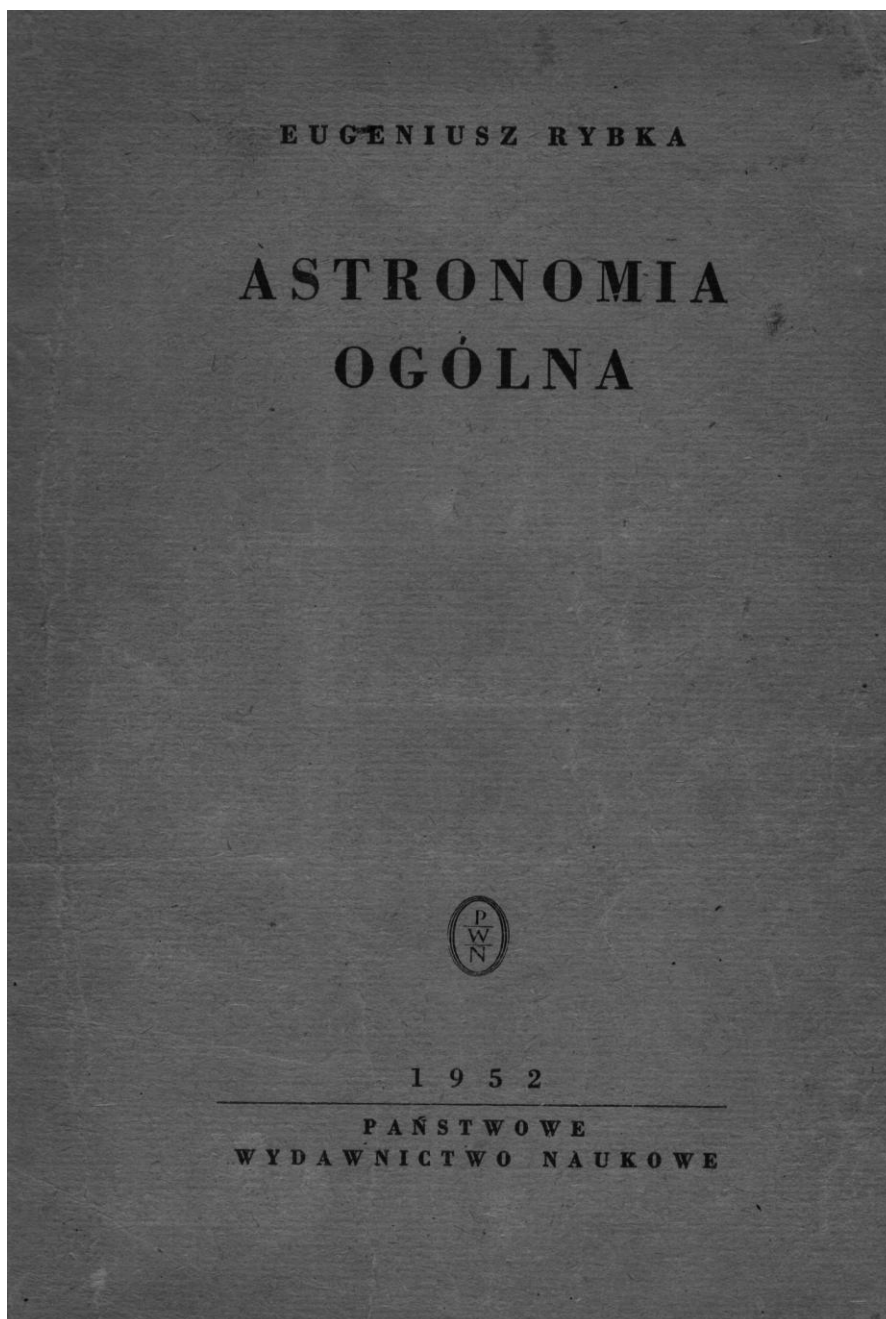
Historia kariery Eugeniusza Rybki została obszernie opisana przez niego samego oraz przez jego współpracowników i krewnych w kilku publikacjach (odwołanie bibliograficzne podaję na końcu artykułu). Ponieważ są one dostępne także w Internecie, skupię się tylko na podaniu podstawowych danych z życia naukowca.

Nie do przecenienia jest rola kierownicza profesora Rybki w trzech obserwatoriach astronomicznych. We Lwowie przyczynił się do ich modernizacji i rozbudowy obserwatorium, we Wrocławiu przeprowadził odbudowę obserwatorium z wojennych zniszczeń, a w Krakowie wybudował nowe obserwatorium. Astronomowie wszystkich wymienionych ośrodków patrzą z podziwem i wdzięcznością na jego dokonania.

Eugeniusz Rybka urodził się w Radzyminie w 1898 roku. Studia podjął na Uniwersytecie Jagiellońskim w końcu października 1918 roku. Jednak już po kilku dniach je przerwał i przez dwa lata oddał się służbie wojskowej na rzecz ojczyzny. W listopadzie 1920 roku wrócił na Uniwersytet Jagielloński i kontynuował studia. Już na początku 1921 roku objął stanowisko rachmistrza naukowego w krakowskim Obserwatorium Astronomicznym. Pod okiem prof. Tadeusza Banachiewicza zdobywał pierwsze zawodowe doświadczenia. Po ukończeniu studiów, jesienią 1923 roku, przeniósł się do Warszawy, gdzie rozpoczął pracę asystenta w stołecznym obserwatorium. Tam napisał pracę doktorską, za którą w 1926 roku na Uniwersytecie Jagiellońskim otrzymał stopień doktora. W 1930 roku, dzięki uzyskaniu stypendium naukowego, wyjechał na blisko pół roku do Lejdy, gdzie pracował pod kierunkiem prof. Einara Hertzsprunga. Do obserwatorium w Lejdzie, kierowanym przez prof. Jana H. Oorta, powrócił na krótko w 1949 roku. Za badania gromad kulistych gwiazd otrzymał w 1932 roku habilitację na Uniwersytecie Warszawskim. W tym też roku wyjechał do Lwowa, gdzie na Uniwersytecie Jana Kazimierza objął kierownictwo Obserwatorium Uniwersyteckiego. W 1945 roku – po wcieleniu wschodnich ziem przedwojennej Polski do Związku Radzieckiego – przyjechał do Wrocławia i objął kierownictwo Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego. W 1958 roku przeniósł się do Krakowa, by po śmierci prof. Tadeusza Banachiewicza (zmarłego w 1954 roku) objąć kierownictwo w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego. Jedną z jego licznych zasług było przeniesienie starego Obserwatorium z ul. Kopernika 27 (centrum miasta) do oddalonego o 10 kilometrów Fortu Skała, gdzie do dziś ma ono swoją siedzibę. W 1968 roku przeszedł na emeryturę. Tutaj historia zamyka koło: na Uniwersytecie Jagiellońskim for-

malnie rozpoczął i zakończył swoją działalność naukową.

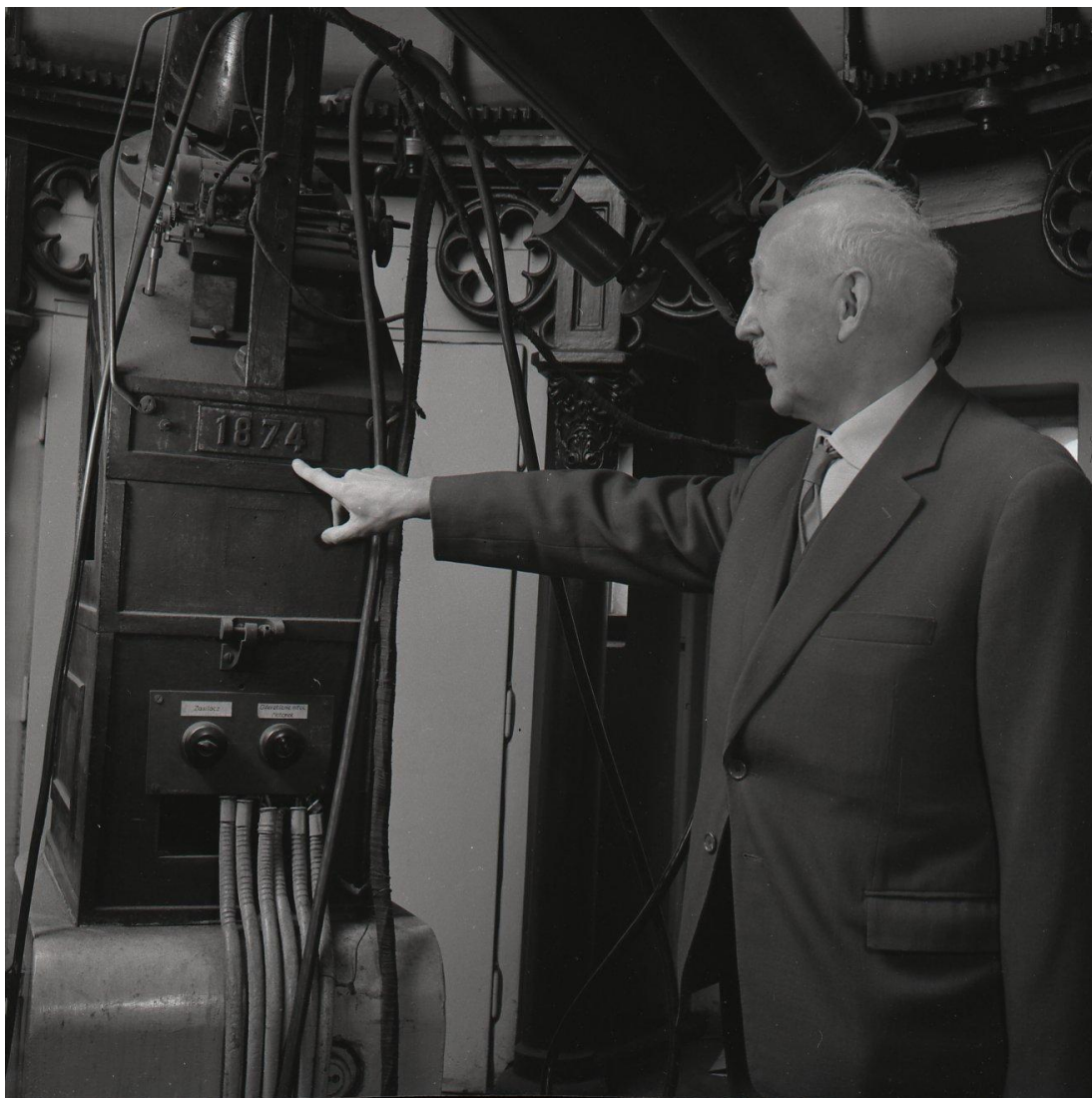
Profesor Rybka zajmował się głównie fotometrią fotograficzną i fotoelektryczną gwiazd oraz w późniejszym czasie także historią astronomii. Napisał w tym zakresie ponad 100 prac. Owocem jego działalności dydaktycznej jest imponujący zbiór wielowydaniowych podręczników licealnych i akademickich. Jego „Astronomia ogólna” była pierwszą fachową literaturą czytana przez pokolenia studentów drugiej połowy zeszłego stulecia.



Pierwsze wydanie „Astronomii Ogólnej”. Podręcznik doczekał się siedmiu poprawionych i uzupełnionych wznowień, z których ostatnie pojawiło się na rynku wydawniczym w 1983 roku. W zakończeniu „Autobiografii” prof. Rybka napisał tak o tym podręczniku: „U kresu mojego życia chciałbym wyrazić pragnienie, aby ta moja praca była kontynuowana i doskonalona dając obraz szybko zmieniającej się astronomii”.

Nie do przecenienia jest jego działalność w licznych towarzystwach i organizacjach naukowych. W latach 1952–1955 i 1955–1958 był wiceprezydentem Międzynarodowej Unii Astronomicznej (MUA). Jak zaszczytna była to funkcja świadczy fakt, że od 1922 roku stanowisko to piastowało tylko czterech astronomów z Polski. W latach 1964–1967 i 1967–1970 był prezydentem Komisji 41 MUA – „Historia astronomii”. Ponadto był członkiem i przez wiele kadencji zasiadał w prezydium Komisji 25 MUA – „Fotometria i polarymetria”. Był członkiem zwyczajnym i honorowym szeregu krajowych i międzynarodowych towarzystw naukowych, m. in. Międzynarodowej Akademii Historii Nauki w Paryżu. W 1973 roku nadano mu doktorat honoris causa Uniwersytetu im. J. A. Komeńskiego w Bratysławie. Był też niestrudzonego popularyzatorem astronomii – w latach 1925–1929 oraz w latach 1934–1939 pełnił funkcję redaktora naczelnego miesięcznika „Urania”.

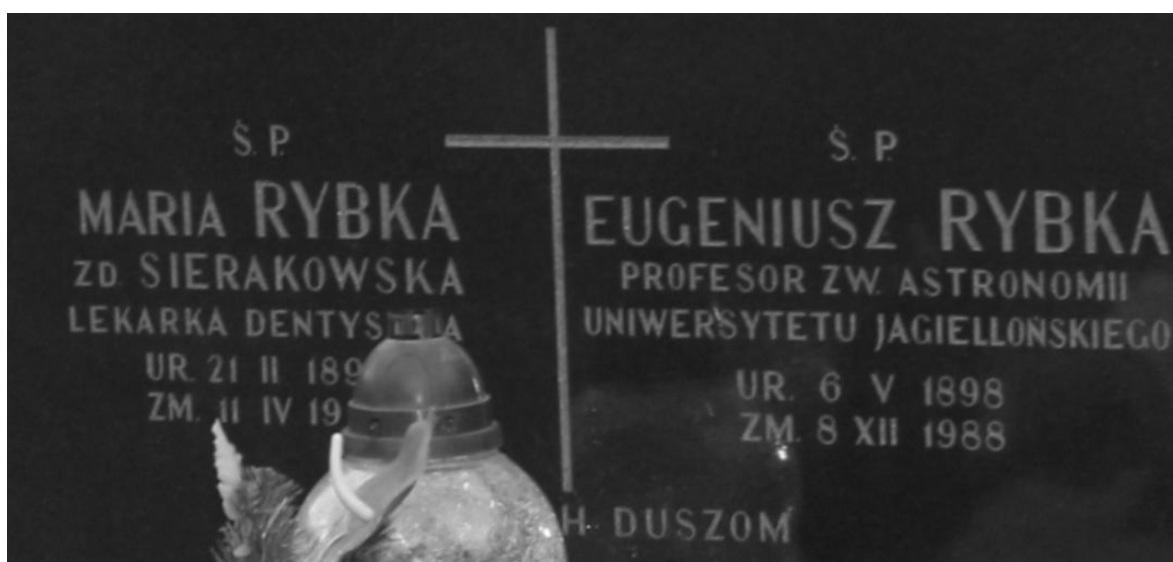
W rocznicowym 2018 roku, serdecznie zachęcam do poznania dorobku śp. prof. Eugeniusza Rybki oraz odwiedzenia związanych z nim miejsc.



Profesor E. Rybka przy lunecie Grubb w siedzibie Obserwatorium UJ przy ul. M. Kopernika 27 w Krakowie. Instrument ten, po gruntownej renowacji, znajduje się obecnie w Obserwatorium Uniwersytetu Jagiellońskiego na Forcie Skała.



Uroczyste otwarcie Obserwatorium na Forcie Skała w maju 1964 roku.
(z prywatnego archiwum autora).



Tablica na grobie prof. Eugeniusza Rybki i jego żony Marii. Grób znajduje się na cmentarzu rakowickim w Krakowie, jako pierwszy, w II rzędzie kwatery CI. Najłatwiej dotrzeć tam przez bramę od strony Al. 29 Listopada. Po przekroczeniu bramy należy kierować się na lewo, w kierunku dobrze widocznych kolumbariów. Pomocny może być Internetowy lokalizator grobów <http://www.rakowice.eu/>.



Gromada kulista M3 w gwiazdozbiornie Psów Gończych odkryta przez C. Messiera w 1764 roku. Eugeniusz Rybka podczas pobytu w Holandii pracował nad fotometrią gwiazd w gromadzie M3, a wynikiem tego była publikacja „Photographic magnitudes from Potsdam plates of 995 stars in or near the globular cluster M3”, która ukazała się w 1930 roku w „Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands” w tomie 5, na str. 257. (z „*Astronomy Picture of the Day*”, prawa autorskie: Karel Teuwen.)

Polecana literatura

Mietelski J., 1973, *Urania*, 10, 294,

http://www.uraniam.edu.pl/pliki/archiwum/uraniam_1973_10.pdf

Mietelski J., 1980, *Postępy Astronomii*, 2, 167

http://www.uraniam.edu.pl/pliki/archiwum/postepy_astronomii_1980_02.pdf

Mietelski J. 1989, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki*, 3, 167

http://bazhum.muzhp.pl/media//files/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1989-t34-n3/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1989-t34-n3-s665-668/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1989-t34-n3-s665-668.pdf

Mietelski J., 2000, *Złota Księga*, Uniwersytet Jagielloński, Wydział Matematyki i Fizyki, red. B. Szafirski, s. 180

Rudnicki K., 1996, *Analecta: studia i materiały z dziejów nauki*, 5, 171

http://bazhum.muzhp.pl/media//files/Analecta_studia_i_materiały_z_dziejow_nauki/Analecta_studia_i_materiały_z_dziejow_nauki-r1996-t5-n2_%2810%29/Analecta_studia_i_materiały_z_dziejow_nauki-r1996-t5-n2_%2810%29-s171-188/Analecta_studia_i_materiały_z_dziejow_nauki-r1996-t5-n2_%2810%29-s171-188.pdf

Rybka E., 1988, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki*, 4, 928

http://bazhum.muzhp.pl/media//files/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1988-t33-n4/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1988-t33-n4-s928-942/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1988-t33-n4-s928-942.pdf

Rybka P. (syn E. Rybki), 1989, *Urania*, 6, 168

http://www.uraniam.edu.pl/pliki/archiwum/uraniam_1989_06.pdf

Cassini – koniec wielkiej misji

Waldemar Zwierzchlejski

Astronomia Nova

15 września 2017 roku o godzinie 11:55 do Ziemi dotarły ostatnie sygnały z sondy Cassini. Stało się to po blisko dwudziestu latach od chwili jej startu z Ziemi i ponad trzynastu spędzonych w pobliżu Saturna. Sonda weszła w gęste warstwy jego atmosfery i spłonęła, do ostatniej chwili przesyłając unikatowe dane naukowe. Podczas swej misji sonda Cassini pokonała dystans 7.9 miliarda kilometrów, odebrała i wykonała dwa i pół miliona komend, a jej silniki przeprowadziły 360 manewrów. Odkryła sześć nieznanych dotąd satelitów Saturna, wykonała 453048 fotografii jego atmosfery, pierścieni i księżyców oraz przekazała 635 gigabajtów informacji, na podstawie których do dnia zakończenia misji opublikowano 3948 prac naukowych.

Saturn w liczbach

Szósta planeta Układu Słonecznego znana była już w starożytności. Choć oddległa od Słońca o niemal półtora miliarda kilometrów, dziesięciokrotnie dalej niż Ziemia, bez problemów widoczna jest nieuzbrojonym okiem. Zawdzięcza to swym wymiarom – promień planety jest dziewięciokrotnie większy od ziemskiego i wynosi 58232 km. Natomiast masa Saturna jest większa od ziemskiej 95 razy (5.68×10^{26} kg), z tego wynika, że średnia gęstość planety wynosi zaledwie 0.687 g/cm^3 , znacznie mniej od gęstości wody. Oznacza to, że Saturn zalicza się do gazowych olbrzymów. W centrum planety jest niewielkie, żelazowo krzemianowe jądro, stanowiące około 20% masy Saturna. Otoczone jest ono grubą warstwą ciekłego wodoru metalicznego, a następnie molekularnego, z niewielką domieszką helu. Warstwa ta w sposób ciągły przechodzi w stan gazowy, czyli atmosferę. Składa się ona niemal wyłącznie z wodoru (96.3%) oraz helu (3.25%). Pozostały ułamek masy przypada na metan, amoniak oraz wodę. Wnętrze planety jest gorące, emituje ona w przestrzeń 2.5 razy więcej energii, aniżeli otrzymuje od Słońca. Mechanizm jej powstawania nie jest dotąd jednoznacznie wyjaśniony. Planeta, obracająca się wokół swej osi w czasie około 10.5 godziny (rotacja jest niejednorodna, gdyż Saturn nie jest bryłą sztywną), generuje pole magnetyczne o natężeniu znacznie większym od ziemskiego ($20 \mu\text{T}$).

Pierwsze obserwacje

Z chwilą skonstruowania przez Galileusza pierwszej lunety (rok 1610), nasza wiedza o Saturnie po raz pierwszy uległa zmianie – niedoskonały przyrząd pokazał obraz planety z „uszami”. Taki zadziwiający pogląd, że Saturn jest planetą potrójną, utrzymał się przez blisko 50 lat. Dopiero Christian Huygens, korzystający ze znacznie lepszych przyrządów, wyciągnął wniosek, że planetę

otacza stosunkowo cienki pierścień, składający się z drobnych cząstek, rozciągający się wokół planety w jej płaszczyźnie równikowej. Jego pogład długo budził niedowierzanie, dopiero dokładniejsze obserwacje, przeprowadzone przez Gian Domenico Cassiniego wykazały, że Huygens miał rację. Dodatkowo Cassini odkrył w roku 1675 przerwę w strukturze pierścienia, a także cztery jego księżyce (pierwszy, nazwany Tytan, odkrył Huygens jeszcze w roku 1655). Kolejne dziesięciolecia skutkowały odkrywaniem kolejnych, mniejszych naturalnych satelitów planety, a także nieco bardziej szczegółowym opisem jej pierścieni, w których odkryto kolejne przerwy, natomiast o naturze samej planety nie mogliśmy dowiedzieć się niczego nowego. Przełom w tej dziedzinie spowodowało dopiero nastanie ery lotów kosmicznych i rozpoczęcie badań planet z bliska.

Trzy przeloty

Pierwszą sondą kosmiczną, która zbadała z bliska Saturna, był Pioneer-11, który 1 września 1979 roku zbliżył się do niego na odległość 20900 km od widocznej powierzchni atmosfery i przesłał dane oraz fotografie jego układu. Wielkim zaskoczeniem okazała się rozległość i wysoce skomplikowana budowa jego pierścieni, odkryto także magnetosferę planety. Spowodowało to włączenie do programu lotu dwóch sond Voyager znacznie rozleglejszego, niż to uprzednio planowano, programu badań obu struktur. Sonda Voyager-1 zbliżyła się do Saturna 12 listopada 1980 r. na odległość około 124000 km nad szczytami chmur, zaś Voyager-2 26 sierpnia 1981 r. na odległość około 101000 km od granicy atmosfery. Sondy odkryły nowe satelity, w tym krążące wewnątrz pierścieni tzw. księżyce pasterskie, zawiadujące ruchem cząstek pierścienia, przekazały zdjęcia Saturna, ukazując niewiarygodnie dokładne szczegóły jego budowy, oraz po raz pierwszy fotografie dobrej rozdzielczości kilku naturalnych satelitów planety. Okazało się, że układ Saturna jest niezwykle interesującym dla nauki rejonem badań, które powinny zostać przeprowadzone nie podczas krótkich przelotów, lecz w ramach specjalnie dedykowanej misji, z użyciem sondy, mogącej czynić długotrwałe obserwacje z orbity planety.

Prace koncepcyjne

Jeszcze w 1977 roku NASA zainicjowała prace koncepcyjne nad taką misją do Saturna, nazwaną Saturn Orbiter Dual Probe, składającą się z trzech elementów: orbitera Saturna, próbnika atmosferycznego planety oraz próbnika atmosferycznego lub lądownika na Tytanie. W czerwcu 1982 roku Space Science Committee należący do European Science Foundation i amerykański Space Science Board utworzyły wspólną grupę roboczą, której zadaniem było zbadanie możliwości współpracy pomiędzy Stanami Zjednoczonymi i Europą w dziedzinie badań planetarnych. Miesiąc później ESA wystosowała wezwanie do europejskich naukowców do przedłożenia propozycji przyszłych misji

kosmicznych. W rezultacie, w listopadzie 1982 roku, Daniel Gautier i Wing Ip przedłożyli ESA propozycję, podpisaną także przez 27 innych naukowców, misji nazwanej Cassini, złożonej z orbitera Saturna i próbnika Tytana, jednocześnie sugerując przeprowadzenie jej we współpracy z NASA. W styczniu 1983 roku amerykański Solar System Exploration Committee zarekomendował NASA przeprowadzenie misji na Tytana (Titan Probe-Radar Mapper) z możliwością dołączenia do niej orbitera Saturna. Pomiedzy kwietniem 1984 roku a czerwcem 1985 roku NASA i ESA przeprowadziły wspólne studium oceniające misję do Saturna i Tytana. W jego trakcie zdecydowano, że próbnik Tytana zostanie dostarczony przez ESA, a za budowę orbitera będzie odpowiadać NASA. W lutym 1986 roku ESA przyjęła projekt próbnika do wstępnego studium. Zostało ono przeprowadzone od listopada 1987 do września 1988 roku, przez europejskie konsorcjum przemysłowe, pod kierunkiem Marconi Space Systems. Po jego zakończeniu, 25 listopada 1988 roku, misja próbnika Tytana została zatwierdzona do realizacji, jako pierwsza misja klasy średniej w ramach długofalowego programu europejskich badań kosmicznych Horizon 2000. Misja próbnika otrzymała wówczas nazwę Huygens. Po stronie amerykańskiej, w latach 1987–1988, w NASA kontynuowano prace projektowe nad konstrukcją nowego typu sondy kosmicznej Mariner Mark II, przeznaczonej do misji w zewnętrznych obszarach Układu Słonecznego. Pierwszymi sondami, które miały wykorzystywać tę nową konstrukcję były sonda kometarna CRAF i Cassini. Ich misje zostały połączone we wspólnym programie, który został zaaprobowany przez amerykański Kongres w listopadzie 1989 roku. W październiku 1989 roku ESA i NASA ogłosiły oddzielnie konkursy na instrumenty naukowe przeznaczone dla próbnika i orbitera. Konkurs został rozstrzygnięty przez ESA we wrześniu 1990 roku, a przez NASA w listopadzie 1990 roku. Oprócz instrumentów do realizacji wybrano także badania interdyscyplinarne. Dodatkowy konkurs na konstrukcję instrumentu INMS na pokładzie orbitera został rozstrzygnięty w lutym 1992 roku. Włoska Agencja Kosmiczna (ASI), w ramach umowy o dwustronnej współpracy z NASA z 1993 roku, dostarczyła antenę główną i niektóre z instrumentów dla orbitera. Głównym wykonawcą próbnika Huygens zostało Aérospatiale. Wprowadzone przez Kongres ograniczenia budżetowe wymusiły w styczniu 1992 roku rezygnację z misji sondy CRAF i zmiany konstrukcyjne zmniejszające koszt konstrukcji orbitera Cassini. Zrezygnowano z dwóch ruchomych platform dla instrumentów naukowych i oddzielnej ruchomej anteny do łączności z próbnikiem Huygens. Zaniechano też planów dokonania bliskiego przelotu obok planetoidy i większości obserwacji naukowych w trakcie lotu w kierunku Saturna. Data startu została przełożona z kwietnia 1996 na październik 1997 roku. W 1995 roku komisja budżetowa Kongresu zdecydowała o całkowitej rezygnacji z misji Cassini. Na szczęście decyzja ta została cofnięta po interwencji dyrektora generalnego ESA.

Rodzi się wielka misja

Została ustalona lista celów naukowych, które obejmowały pięć grup tematycznych, osobnych dla każdego rodzaju ciał w systemie Saturna (planeta, pierścienie, Tytan, księżyce lodowe i magnetosfera). Przedstawiała się ona w następujący sposób:

Planeta:

- określenie rozkładu temperatury, własności obłoków i składu atmosfery Saturna;
- pomiar globalnego rozkładu wiatrów, włączając ich składniki falowe i wirowe, obserwacja cech obłoków i procesów synoptycznych;
- wyciągnięcie wniosków na temat struktury wewnętrznej i rotacji głębokich warstw atmosfery;
- obserwacja zmienności dobowej w jonosferze Saturna i wpływu pola magnetycznego na jonosferę;
- dostarczenie ograniczeń obserwacyjnych (skład gazów, stosunek izotopów, strumień ciepła, itp.) na scenariusze powstania i ewolucji Saturna;
- zbadanie źródeł i morfologii wyładowań atmosferycznych na Saturnie (gwizdy piorunowe, wyładowania elektrostatyczne).

Pierścienie:

- zbadanie ukształtowania pierścieni i procesów dynamicznych (grawitacyjnych, lepkich, erozyjnych i elektromagnetycznych) odpowiedzialnych za ich strukturę;
- sporządzenie map rozkładu wielkości i składu materiału pierścieni;
- określenie związków pomiędzy pierścieniami a księżycami, włączając w to księżyce wbudowane w pierścienie;
- ustalenie rozkładu pyłu i meteoroidów w sąsiedztwie pierścieni;
- zbadanie interakcji pomiędzy pierścieniami a magnetosferą, jonosferą i atmosferą Saturna.

Tytan:

- określenie obfitości składników atmosfery (w tym gazów szlachetnych), ustalenie stosunków izotopowych dla obficie występujących pierwiastków, wprowadzenie ograniczeń na scenariusze powstania i ewolucji Tytana i jego atmosfery;
- obserwacja pionowego i poziomego rozkładu gazów śladowych, poszukiwanie złożonych związków organicznych, zbadanie źródeł energii dla chemii atmosferycznej, modelowanie fotochemii stratosfery, zbadanie powstawania i składu aerozoli;
- pomiar prędkości wiatrów i globalnych temperatur, zbadanie fizyki chmur, ogólnej cyrkulacji i efektów sezonowych w atmosferze Tytana, poszukiwanie wyładowań piorunowych;
- ustalenie stanu fizycznego, topografii i składu powierzchni, wyciągnięcie wniosków na temat budowy wewnętrznej księżyca;

- zbadanie górnej części atmosfery, jej jonizacji i roli, jako źródła neutralnej i zjonizowanej materii w magnetosferze Saturna.

Księżyce lodowe:

- określenie ogólnej charakterystyki i historii geologicznej księżyców;
- określenie mechanizmów, zarówno zewnętrznych jak i wewnętrznych, odpowiedzialnych za modyfikacje skorupy i powierzchni;
- zbadanie składu i rozmieszczenia materii na powierzchni księżyców, w szczególności ciemnych materiałów bogatych w związki organiczne i skondensowanych substancji lotnych o niskim punkcie topnienia;
- wprowadzenie ograniczeń na modele opisujące ogólny skład i budowę wewnętrzną księżyców;
- zbadanie interakcji księżyców z magnetosferą i systemem pierścieni oraz możliwego wprowadzania przez nie gazu do magnetosfery.

Magnetosfera:

- określenie konfiguracji prawie osiowo symetrycznego pola magnetycznego i jego związku z modulacją promieniowania kilometrowego Saturna;
- określenie systemów prądów, składu, źródeł i odpływów cząstek naładowanych magnetosfery;
- zbadanie interakcji falowo-cząsteczkowych i dynamiki po stronie dziennej magnetosfery i w ogonie magnetycznym Saturna oraz ich wzajemnego oddziaływania z wiatrem słonecznym, księżycami i pierścieniami;
- zbadanie efektów interakcji Tytana z wiatrem słonecznym i plazmą magnetosferyczną;
- zbadanie interakcji atmosfery i egzosfery Tytana z otaczającą plazmą.

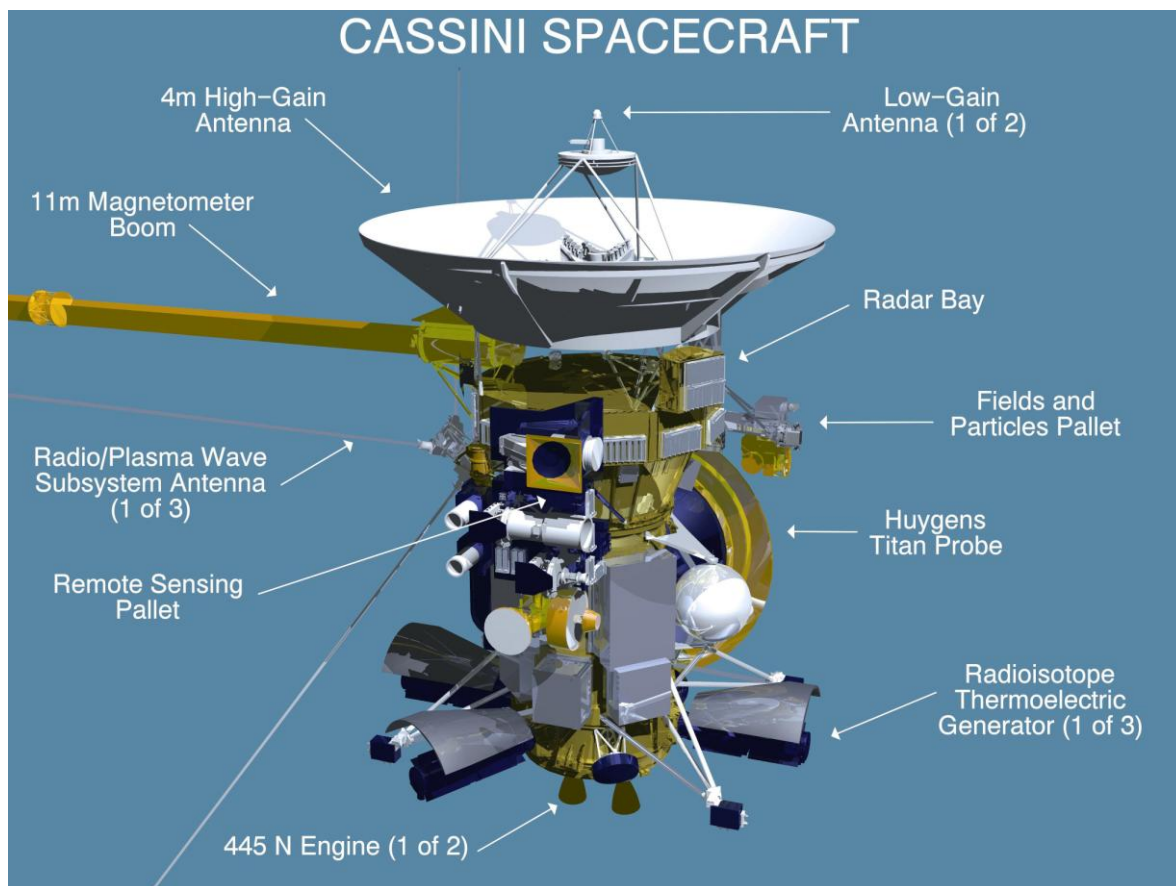
Sonda Cassini

Sonda składała się z orbitera Cassini i lądownika Huygens, które w początkowych etapach misji pozostawały ze sobą połączone. Ich całkowita masa startowa wynosiła 5574 kg, z czego na paliwo przypadało 3132 kg. Doliczając masę łącznika z rakieta nośną, łączna masa przy starcie wynosiła 5712 kg. Ze wszystkich uprzednio wysłanych sond kosmicznych jedynie sondy Fobos-Grunt i Mars 96 miały większą masę startową, jednak obie nie zdołały nawet opuścić orbity okołoziemskiej.

Kadłub orbitera miał wysokość całkowitą 6.87 m i składał się z pięciu połączonych z sobą głównych modułów konstrukcyjnych. Patrząc od góry były to kolejno:

- antena główna o średnicy 4 m;
- przedział elektroniki w kształcie dwunastobocznego pierścienia;
- górny moduł wyposażenia;
- moduł napędowy z silnikami;
- dolny moduł wyposażenia.

Do kadłuba przymocowany był wysięgnik dla magnetometru o długości 11 metrów oraz trzy ustawione ortogonalnie anteny o długości 10 m, służące do odbioru fal plazmowych. Większa część konstrukcji kadłuba wykonana była z aluminium. Antena główna i wysięgniki dolnego modułu wyposażenia wykonane zostały z epoksydów grafitowych. Wszystkie główne podsystemy inżynieryjne sondy zostały zdublowane na wypadek awarii układu podstawowego. Sonda była stabilizowana trójosiowo. Na pokładzie orbitera znajdowało się 12 instrumentów naukowych. Większość instrumentów została przymocowana do dwóch stałych platform na powierzchni kadłuba. Były to paleta dla instrumentów teledetekcyjnych i paleta dla instrumentów badających cząstki i pola. Ponieważ brak było ruchomej platformy skanującej, cała sonda musiała być obracana podczas wykonywania obserwacji teledetekcyjnych. Większa część kadłuba sondy przykryta była przez wielowarstwową izolację termiczną w kolorze złotym oraz czarnym wykonaną z użyciem Kaptonu, która chroniła także przed uderzeniami mikrometeoroidów. W skład systemu kontroli temperatury wchodziły też grzejniki elektryczne i radioizotopowe oraz kontrolowane przez termostat żaluzje.



Schemat obrazujący rozkład kluczowych modułów sondy kosmicznej Cassini.

Energia elektryczna dostarczana była sondzie przez trzy, przymocowane do dolnego modułu wyposażenia, radioizotopowe generatory termoelektryczne RTG. Każdy z generatorów miał 114 cm długości, 42.2 cm średnicy, masę 56.4 kg i zawierał pluton 238 w postaci dwutlenku. Masa dwutlenku plutonu

w każdym generatorze wynosiła około 10.9 kg. Na początku misji generatory wytwarzały prąd stały (o napięciu 30 V) o łącznej mocy około 887 W. Dostarczana energia stopniowo zmniejszała się z czasem z powodu rozpadu radioaktywnego plutonu i degradacji elementów ogniów termoelektrycznych. Pod koniec głównej fazy misji, w lipcu 2008 roku, generatory wytwarzały ok. 692 W. Generatory RTG zostały wyprodukowane w zakładach koncernu Lockheed Martin. Na pokładzie sondy umieszczono także 117 grzejników radioizotopowych (82 na pokładzie orbitera Cassini i 35 na pokładzie próbnika Huygens), zawierających łącznie 0.3 kg dwutlenku plutonu, każdy o masie 40 g i mocy ok. 1 W.

Moduł napędowy orbitera złożony był z dwóch oddzielnych i niezależnych systemów na dwuskładnikowy i jednoskładnikowy materiał pędny. System na dwuskładnikowy materiał pędny wykorzystywał monometylohydrazynę jako paliwo i tetratlenek diazotu jako utleniacz. Zbiornik z helem pod wysokim ciśnieniem dostarczał gaz utrzymujący ciśnienie w zbiornikach z materiałami pędnymi. Dwa (podstawowy i zapasowy) umieszczone obok siebie centralnie u podstawy sondy silniki główne Kaiser Marquardt R-4D o ciągu 445 N i impulsie właściwym 304 s służyły do wykonywania wszystkich dużych manewrów o Δv powyżej 0.4 m/s. Dysze silników były ruchome, dla utrzymania kierunku ciągu zgodnego ze środkiem masy sondy. Ruchoma osłona chroniła dysze silników głównych przed uderzeniami cząstek pyłu. System na jednoskładnikowy materiał pędny wykorzystywał hydrazynę służącą do zasilania 8 podstawowych i 8 zapasowych silników korekcyjnych o ciągu (na początku misji) 0.97 N i impulsie właściwym 195 s. Rozmieszczone były one na czterech zestawach silnikowych przymocowanych do boków kadłuba na wysokości dolnego modułu wyposażenia orbitera. W skład każdego zestawu silnikowego wchodziły cztery silniki: po dwa ustawione w dwóch różnych osiach (Y i Z). Używany był tylko jeden silnik w każdej osi, drugi stanowił układ rezerwowy. Zbiornik z helem służył do utrzymywania ciśnienia w zbiorniku z hydrazyną. Silniki tego systemu służyły do kontroli położenia sondy, wykonywania mniejszych manewrów korekcyjnych i desaturacji kół reakcyjnych (wnoszenie poprawek do momentu pędu kół reakcyjnych). Początkowa masa materiałów pędnych w systemie dwuskładnikowym wynosiła 3000 kg (1869 kg utleniacza i 1131 kg paliwa). Masa hydrazyny w systemie na jednoskładnikowy materiał pędny wynosiła na początku misji 132 kg. Masa helu w obu systemach wynosiła odpowiednio 8.6 kg i 0.4 kg. W marcu 2009 roku z powodu pogorszenia osiągnięć dwóch z ośmiu silników korekcyjnych zestawu podstawowego, dokonano przełączenia na zestaw silników rezerwowych. Moduł napędowy został wykonany w zakładach Lockheed Martin Astronautics.

Do łączności z Ziemią wykorzystywana była głównie antena o wysokim zysku (*High-Gain Antenna*, HGA) o średnicy 4 m z nadajnikiem o mocy 20 W pracującym w paśmie X na częstotliwości 8.43 GHz (o zysku 47 dBi) i odbiornikiem w paśmie X na częstotliwości 7.2 GHz. Szybkość transmisji

danych z orbity wokół Saturna wynosiła od 22.12 do 165.9 kilobitów na sekundę. Odbiór rozkazów z Ziemi odbywał się z szybkością do 500 bitów na sekundę. Poza łącznością z Ziemią antena główna wykorzystywana była przez radar w paśmie Ku i do naukowych eksperymentów radiowych w paśmie Ka i paśmie S. Podczas lądowania próbnika Huygens na Tytanie posłużyła do odbioru danych z próbnika (w paśmie S). W początkowej fazie misji, gdy Cassini znajdował się w wewnętrznych obszarach Układu Słonecznego, antena ta pełniła funkcję osłony przeciwsłonecznej dla sondy. Antena HGA została dostarczona przez ASI. Orbiter wyposażony był też w dwie anteny o niskim zysku (*Low-Gain Antennas*, LGAs). Antena LGA 1 (o zysku 8.9 dBi) była przymocowana do reflektora wtórnego anteny HGA, antena LGA 2 znajdowała się na dolnym module wyposażenia orbitera. Anteny o niskim zysku były intensywnie wykorzystywane do łączności z Ziemią przez pierwsze 2.5 roku od momentu startu. Antena HGA była wtedy skierowana w kierunku Słońca, służąc za osłonę dla sondy i nie mogła być używana do łączności. Później anteny o niskim zysku wykorzystywane były tylko w razie wystąpienia sytuacji awaryjnych. Na Ziemi łączność z sondą utrzymywana była przy użyciu sieci Deep Space Network z antenami o średnicy 34 m i 70 m rozmieszczonymi w trzech kompleksach – w okolicy Madrytu w Hiszpanii, Canberry w Australii i Goldstone w Kalifornii. Podczas typowego dnia misji, od czasu wejścia na orbitę wokół Saturna, sonda przez 15 h wykonywała obserwacje i następnie przez 9 h na transmitowała na Ziemię dane w ilości od około 1 Gbit do 4 Gbit.

Command and Data Subsystem (CDS) był głównym systemem sterującym sondy. CDS odpowiedzialny był za odbiór i przetwarzanie instrukcji przesyłanych z Ziemi, zbieranie i formatowanie danych ze wszystkich instrumentów naukowych i systemów inżynierskich sondy oraz zarządzanie procedurami rozpoznającymi nieprawidłowości w funkcjonowaniu sondy i zapewniającymi ochronę przed ich skutkami. W skład CDS wchodziły dwa 16-bitowe komputery (*Engineering Flight Computers*, EFCs) IBM 1750A. Każdy komputer posiadał 8.2 Mbit pamięci RAM, 131 kbit pamięci PROM i wydajność 1.28 MIPS. Do magazynowania danych na pokładzie sondy służyły dwa półprzewodnikowe rejestratory danych (*Solid State Recorders*, SSRs) wykorzystujące moduły DRAM. Całkowita pojemność każdego rejestratora wynosiła 2.56 Gbit. Rejestratory zostały wykonane w zakładach koncernu TRW Inc.

Attitude and Articulation Control Subsystem (AACS) był systemem odpowiedzialnym za kontrolę położenia sondy w przestrzeni. Do jego zadań należały w szczególności orientacja anten w kierunku Ziemi podczas sesji łączności, ustawienie instrumentów naukowych podczas prowadzonych obserwacji i kontrola położenia ruchomej dyszy silnika głównego podczas manewrów. AACS odpowiadał też za stabilizację sondy podczas manewru odłączenia próbnika Huygens i orientację anteny głównej podczas lądowania próbnika na Tytanie. W skład AACS wchodziły zdwojone komputery (*AACS Flight Computers*, AFCs) i szyny danych o tej samej konstrukcji jak w systemie CDS. Do

określenia położenia sondy w przestrzeni wykorzystywany był zestaw czujników. W ich skład wchodziły podwójne szukacze gwiazd (*Stellar Reference Units*), szukacze Słońca, żyroskopowe systemy bezwładnościowe (*Inertial Reference Units*) i pojedynczy miernik przyspieszenia. Główną rolę w tym systemie pełniły *Stellar Reference Units*, które porównywały pozycje czterech bądź pięciu najjaśniejszych gwiazd w polu widzenia z pokładowym katalogiem około 3700 gwiazd. Zmiany położenia sondy w przestrzeni dokonywały się za pośrednictwem zespołu kół reakcyjnych (*Reaction Wheel Assemblies, RWAs*), każdym o momencie pędu większym od 36 N·m·s, oraz systemu sterowania reakcyjnego (*Reaction Control System, RCS*) składającego się z silników korekcyjnych modułu napędowego. Trzy główne koła reakcyjne znajdowały się na dolnym module wyposażenia. Zapasowe koło reakcyjne (RWA-4) umieszczone było na ruchomej platformie na górnym module wyposażenia i mogło być przestawiane na pozycje równoległe do kół głównych. Koła reakcyjne były w stanie utrzymywać orientację sondy w przestrzeni z dokładnością do 40 mikroradianów. W lipcu 2003 roku z powodu postępującej degradacji funkcjonowania koła RWA-3 zostało ono zastąpione przez RWA-4.

W skład aparatury naukowej orbitera wchodziły:

- system kamer do zdjęć w świetle widzialnym, bliskim ultrafiolecie i bliskiej podczerwieni,
- radar do odwzorowania powierzchni Tytana,
- spektrometry światła widzialnego i podczerwieni do badania składu chemicznego powierzchni księżyców i pierścieni Saturna,
- spektrometry jonowe i plazmowe do badania śladowych atmosfer i jonosfer księżyców oraz plazmy w magnetosferze Saturna,
- magnetometry do badania pola magnetycznego Saturna i jego oddziaływania z wiatrem słonecznym,
- spektrograf obrazowy ultrafioletu do badania atmosfery i pierścieni Saturna,
- analizator pyłu kosmicznego do badania drobin pyłu i lodu wewnątrz układu Saturna,
- aparatura radiowa do badania fal grawitacyjnych, a także własności pola grawitacyjnego Saturna i jego satelitów oraz struktury pierścieni.

Zasilanie spektrometru plazmy CAPS zostało wyłączone 14 czerwca 2011 roku, po analizie danych telemetrycznych, które wykazały, że instrument ten był odpowiedzialny za serię skoków napięcia w układach elektrycznych sondy. 16 marca 2012 roku instrument CAPS został ponownie uruchomiony, jednak w nocy z 1 na 2 czerwca 2012 roku bezpiecznik na pokładzie sondy automatycznie odciął zasilanie tego instrumentu i pozostał on wyłączony do końca misji. 23 grudnia 2011 roku doszło do awarii ultrastabilnego oscylatora (USO) w systemie telekomunikacyjnym sondy. Jego funkcję przejął oscylator zapasowy o mniejszej stabilności. Brak USO wpłynął negatywnie na rezultaty eksperymentów okultacji radiowej. Wszystkie pozostałe instrumenty sondy, poza CAPS i USO, funkcjonowały normalnie do końca misji.

Huygens

Huygens był próbnikiem przeznaczonym do wykonania pomiarów *in situ* podczas przelotu pod spadochronem przez atmosferę Tytana, aż do jego powierzchni. Do momentu odłączenia od sondy Cassini pozostawał przymocowany do jej boku za pośrednictwem pierścienia łączącego. Próbnik został dostarczony przez Europejską Agencję Kosmiczną, a jego głównym wykonawcą było Aérospatiale. Dostarczony przez ESA system składał się z dwóch głównych elementów – właściwego próbnika Huygens o masie 318 kg oraz wyposażenia pomocniczego próbnika (*Probe Support Equipment*, PSE) o masie 30 kg, które pozostawało połączone z orbiterem Cassini po odłączeniu próbnika. W skład wyposażenia PSE wchodziły systemy awioniki, odbiornik radiowy z ultrastabilnym oscylatorem, elementy łączące z orbiterem, połączenia elektryczne i łącza danych oraz system służący do odłączenia próbnika. Próbnik właściwy składał się z zespołu osłon (*Entry Assembly*) i modułu opadania (*Descent Module*) znajdującego się wewnątrz osłon. Zespół osłon był odpowiedzialny za połączenie próbnika z orbiterem i jego odłączenie, zapewnienie osłony termicznej podczas lotu i wejścia w atmosferę Tytana oraz kontrolę przebiegu hamowania w atmosferze. Po wykonaniu manewru wejścia w atmosferę osłony były odrzucane uwalniając moduł opadania.

Przednia osłona aerodynamiczna o średnicy 2.75 m miała kształt stożkowosferyczny i masę 79 kg. Pokryta była płytkami z materiału ablacyjnego wykonanego z włókien krzemowych wzmocnionych przez żywice fenolowe, które chroniły przed strumieniem ciepła o gęstości 1 MW m^{-2} . Osłona tylna miała masę ok. 16.4 kg. Opadanie próbnika w atmosferze spowalniał zespół trzech kolejno rozkładanych spadochronów. Spadochron pilotujący o średnicy 2.59 m odrzucał tylną osłonę, która odpadając wyciągała z kolei spadochron główny o średnicy 8.30 m. Spadochron główny był zbyt duży, by umożliwić przelot przez atmosferę w czasie krótszym niż planowane 2.5 h, był więc następnie zastępowany przez spadochron stabilizujący o średnicy 3.03 m. Czasze wszystkich spadochronów były wykonane z nylonu, a ich linki z Kevlaru.

Kadłub modułu opadania wykonany był z aluminium. Większość systemów i instrumentów naukowych była przymocowana do znajdującej się wewnątrz kadłuba platformy eksperymentalnej. Na górnej pokrywie kadłuba znajdowały się: pojemnik na moździerz wyrzucający spadochron pilotujący, pojemnik z dwoma pozostałymi spadochronami i dwie anteny do łączności z sondą Cassini. Na obrzeżu przedniej części kadłuba przymocowanych było 36 łopatek zapewniających kontrolowany ruch wirowy próbnika podczas opadania w atmosferze. Wszystkie systemy awioniki i nadajniki próbnika były zdublowane. Krytyczne dla przebiegu misji elementy – zegary pokładowe aktywujące zasilanie próbnika i akcelerometry inicjujące sekwencję rozwinięcia spadochronów, były potrójnie redundantne. Dwa wysokościomierze radarowe pracujące w paśmie Ku, zaopatrzone w anteny o wymiarach $125 \times 162 \text{ mm}$, dostarczały danych o rzeczywistej odległości od powierzchni księżycy, począ-

wszy od wysokości około 42 km. Na wypadek lądowania w węglowodorowym jeziorze lub oceanie, próbnik został zaprojektowany w taki sposób, żeby utrzymywał się na powierzchni ciekłych węglowodorów.

Po odłączeniu od sondy Cassini energię dla próbnika dostarczało 5 baterii litowo-siarkowych (LiSO_2), o całkowitej pojemności około 1600 Wh energii. Układ dystrybuujący energię dostarczał prąd o napięciu 28 V. W skład systemu kontroli temperatury wchodziła wielowarstwowa izolacja oraz 35 grzejników radioizotopowych, każdy o mocy około 1 W.

Kontrolę nad sekwencją misji i nadzór nad przekazem danych z systemów pokładowych i instrumentów do nadajników sprawował zdwojony *Command and Data Management Unit* o łącznej pamięci wynoszącej około 20 kbit. Dane z próbnika przesyłane były na pokład sondy Cassini przez dwa niezależne (kanał A i kanał B) nadajniki w paśmie S o mocy 12 W, pracujące na częstotliwościach, odpowiednio, 2040 i 2098 MHz, z oddzielnymi antenami o niskim zysku. Szybkość transmisji danych w każdym kanale wynosiła 8192 bitów na sekundę. Identyczne dane były przesyłane z opóźnieniem 6 s między kanałami, dla zmniejszenia ryzyka ich utraty. Częstotliwość sygnału w kanale A była kontrolowana przez ultrastabilny oscylator na pokładzie próbnika i odpowiadający mu ultrastabilny oscylator odbiornika na pokładzie orbitera, które były wykorzystywane przez eksperyment pomiarów dopplerowskich prędkości wiatru. Dane z próbnika były odbierane przez antenę główną sondy Cassini i magazynowane na jej pokładzie do późniejszej transmisji na Ziemię. Misją próbnika Huygens kierowało *Huygens Probe Operations Center* (HPOC), znajdujące się w Europejskim Centrum Operacji Kosmicznych (ESOC) w Darmstadt. W skład aparatury naukowej próbnika weszły następujące instrumenty:

- chromatograf gazów i spektrometr gazowy;
- zbieracz aerozoli i pirolizer;
- imadżer opadania i radiometr spektralny;
- instrument badania struktury atmosfery;
- eksperyment Doppler Wind;
- zestaw powierzchniowych urządzeń badawczych SSP (*Surface Science Package*), w jego skład weszły akcelerometr i urządzenia do pomiaru współczynnika refrakcji, temperatury, przewodności i pojemności cieplnej, prędkości rozchodzenia się dźwięku i stałej dielektrycznej powierzchni (stałej, mulistej bądź ciekłej) w miejscu lądowania.

W konstrukcji instrumentów dla próbnika Huygens wzięli udział polscy specjaliści z Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie. Ich dziełem jest zaprojektowanie i wykonanie czujnika do pomiaru temperatury i przewodnictwa cieplnego (*Thermal Properties*, THP), wchodzącego w skład eksperymentu SSP. Drugim polskim wkładem było zaprojektowanie układów elektroniki analogowej obsługujących pięć czujników do badań własności fizycznych powierzchni Tytana. Układy te zostały zbudowane w Anglii według

polskiego projektu, przeszły pomyślnie testy przedstartowe i weszły w skład aparatury próbnika Huygens.

Lot

Od listopada 1995 roku w Jet Propulsion Laboratory prowadzono montaż i testy orbitera, podczas gdy integrację i testy próbnika Huygens wykonano w zakładach Daimler-Benz Aerospace Dornier Satellitensysteme w Ottobrunn w pobliżu Monachium. Na początku kwietnia 1997 roku Huygens został przetransportowany samolotem na kosmodrom Cape Canaveral. 21 kwietnia 1997 trafił tam także orbiter Cassini. Na kosmodromie przeprowadzone zostały finalne etapy montażu i testów przedstartowych sondy oraz jej integracja z rakieta nośną. 29 sierpnia 1997, już po zamontowaniu sondy na szczycie rakiety Titan IV, wykryto uszkodzenie fragmentu osłony termicznej wewnątrz próbnika Huygens, spowodowane przez nieprawidłowo ustawiony przepływ powietrza w systemie chłodzenia. W celu naprawy osłony konieczne było zdemontowanie sondy i jej przewiezienie do hali montażowej, co zmusiło do przesunięcia, zaplanowanego pierwotnie na 6 października, terminu startu.

Start sondy Cassini-Huygens nastąpił 15 października 1997 roku o 08:43:01 UTC, ze stanowiska startowego SLC-40 na Cape Canaveral Air Force Station. O 08:54 UTC rakieta nośna Titan 401B/Centaur (numer seryjny 4B-33/TC-21) wprowadziła sondę na wstępną orbitę parkingową. Powtórny zapłon członu Centaur o 09:13 UTC umożliwił wejście na orbitę heliocentryczną. Ponieważ sonda miała zbyt dużą masę na to, żeby rakieta nośna mogła dostarczyć energii wystarczającej na bezpośredni lot do Saturna, dla potrzeb misji zaprojektowano trajektorię lotu nazwaną VVEJGA (*Venus-Venus-Earth-Jupiter Gravity Assist*). Umożliwiła ona czterokrotne wykorzystanie manewrów asysty grawitacyjnej mijanych planet (podczas dwukrotnych przelotów obok Wenus, przelotu obok Ziemi oraz Jowisza) dla dotarcia do Saturna.

27 marca 1998 roku Cassini przeszedł przez pierwsze peryhelium swej orbity, w odległości 0.67 AU od Słońca. Największe zbliżenie podczas pierwszego przelotu obok Wenus, na odległość 283.7 km od powierzchni planety, miało miejsce 26 kwietnia 1998 roku o 13:44:41 UTC. Wykonany w efekcie przelotu manewr asysty grawitacyjnej zwiększył prędkość sondy względem Słońca o 3.7 km/s.

3 grudnia 1998 roku przy użyciu silnika głównego został wykonany manewr DSM (*Deep Space Maneuver*; $\Delta v = 450.2$ m/s), który został zaplanowany w celu zmniejszenia prędkości sondy w pobliżu apoapsis, obniżając następujące peryapsis i umożliwiając przeprowadzenie ponownego manewru asysty grawitacyjnej ze strony Wenus. 7 grudnia 1998 roku sonda przeszła przez aphelium, w odległości 1.58 AU od Słońca.

Drugi przelot obok Wenus nastąpił 24 czerwca 1999 roku o 20:29:55 UTC, w odległości 602.6 km od jej powierzchni. W wyniku przelotu prędkość sondy względem Słońca zwiększyła się o 3.1 km/s. 29 czerwca 1999 roku sonda

przeszła przez drugie peryhelium, w odległości 0.72 AU od Słońca.

18 sierpnia 1999 roku, Cassini zbliżył się do Ziemi, przelatując o godz. 03:28:26 UTC w odległości 1171 km nad południowym Pacyfikiem. Prędkość sondy zwiększyła się przy tym o 4.1 km/s. Krótko przed tym przelotem, 15 sierpnia, została odrzucona osłona instrumentu VIMS IR, a 16 sierpnia rozłożony został wysięgnik magnetometru.

Podczas przelotów obok Wenus i Ziemi zaplanowano przeprowadzenie stosunkowo niewielkiej ilości obserwacji naukowych. W trakcie pierwszego zbliżenia do Wenus poszukiwano oznak wyładowań atmosferycznych w jej atmosferze. Podczas kolejnego przelotu badano interakcje zachodzące pomiędzy wiatrem słonecznym a planetą oraz jej jonosferę. Również instrumenty optyczne wykonały wtedy swoje pierwsze testowe obserwacje. Przelot obok Ziemi wykorzystano do przeprowadzenia kalibracji instrumentów sondy. W tym celu wykonano obserwacje ziemskiej magnetosfery, powierzchni Księżyca oraz test radaru polegający na wysłaniu i odbiorze odbitych od powierzchni Ziemi sygnałów.

W drodze do Jowisza sonda Cassini minęła w znacznej odległości, około 1.5 mln km, planetoidę (2685) Masursky. Największe zbliżenie miało miejsce 23 stycznia 2000 roku o 09:58 UTC. Podczas spotkania sonda wykonała obserwacje oceniające kształt, rozmiary i albedo planetoidy oraz pomiary spektralne.

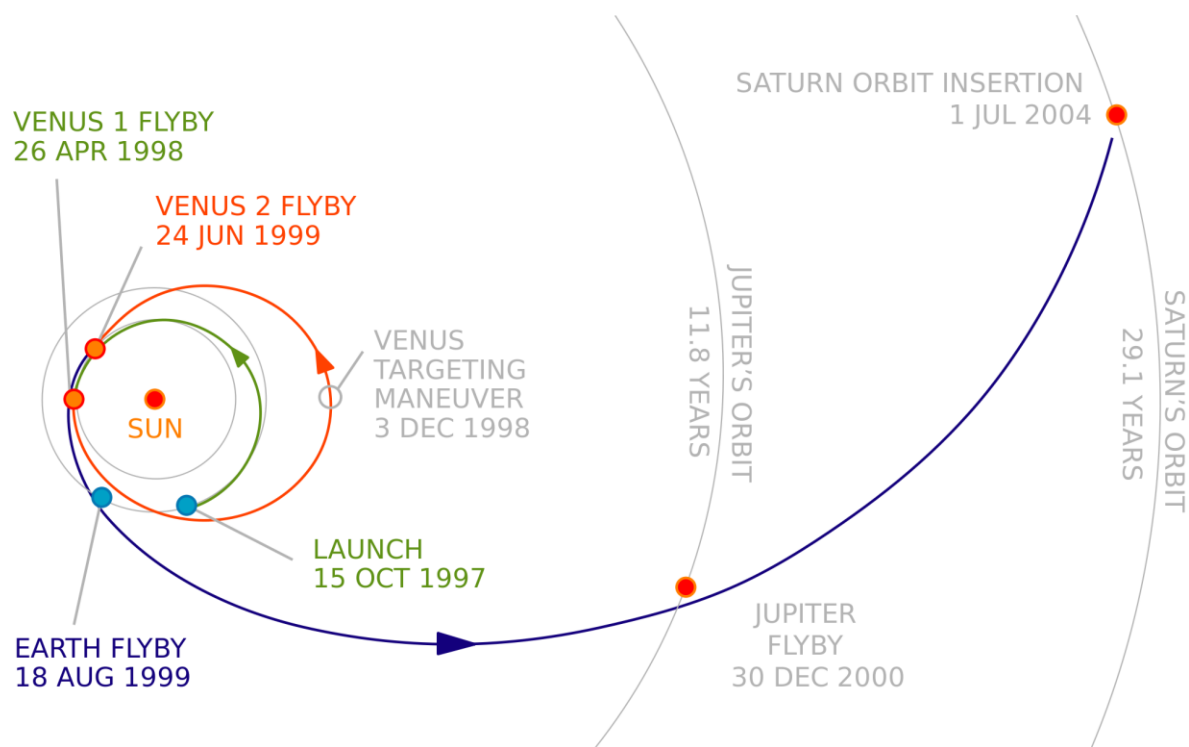
1 lutego 2000 roku antena główna (HGA) przestała pełnić rolę osłony przeciwsłonecznej i przejęła funkcję utrzymywania łączności z Ziemią. 1 października 2000 roku sonda Cassini rozpoczęła trwającą przez 6 miesięcy kampanię obserwacyjną Jowisza. Badania wykonywane przez sondę Cassini były przy tym skoordynowane z obserwacjami prowadzonymi przez sondę Galileo, która od grudnia 1995 roku znajdowała się na orbicie wokół tej planety. Podczas fazy zbliżania się do Jowisza, Cassini znajdował się poza granicami jego magnetosfery i prowadził pomiary wiatru słonecznego, podczas gdy Galileo przebywał głęboko we wnętrzu magnetosfery. Po minięciu planety, sonda Cassini leciała wzdłuż brzegu granicy magnetosfery, wielokrotnie ją przekraczając, natomiast Galileo opuścił magnetosferę i prowadził pomiary wiatru słonecznego.

Obserwacje wykonane podczas przelotu przez instrumenty naukowe obejmowały:

- Badanie składu i dynamiki atmosfery Jowisza, w tym zorzy polarnej i przepływów ciepła.
- Obserwacje pierścieni Jowisza.
- Obserwacje Europy i Kallisto podczas ich opozycji.
- Obserwacje księżyca Himalia i określenie jego okresu rotacji.
- Obserwacje Io podczas jego zaćmienia.
- Badania magnetosfery Jowisza i jego interakcji z wiatrem słonecznym.
- Pomiary strumienia pyłowego pochodzącego z Io.
- Obserwacje promieniowania synchrotronowego Jowisza.



Start wielkiej misji.



Trajektoria lotu sondy Cassini.

W skoordynowanych obserwacjach Jowisza wykorzystano też Kosmiczny Teleskop Hubble'a, Obserwatorium Rentgenowskie Chandra i szereg radioteleskopów na powierzchni Ziemi. Kamery sondy Cassini wykonały łącznie około 26000 fotografii planety i jej księżyców.

16 grudnia 2000 roku, podczas zbliżania do Jowisza, z powodu zakłóceń w funkcjonowaniu koła reakcyjnego RWA-2, nastąpiło przełączenie sterowania położeniem sondy na system sterowania reakcyjnego (RCS). Z tego powodu, w celu ochrony przed nadmiernym zużyciem hydrazyny, od 19 grudnia do 28 grudnia wstrzymano prowadzenie kampanii obserwacyjnej.

Największe zbliżenie do Jowisza nastąpiło 30 grudnia 2000 roku o 10:04:21 UTC. Odległość od planety w periapsis wyniosła 9722965 km. W wyniku przelotu prędkość sondy zmieniła się o 2.2 km/s, a jej trajektoria została odchylona $12^{\circ}.2$ kierując się ku Saturnowi. Ostatnie obserwacje Jowisza zostały wykonane 22 marca 2001 roku.

Cassini przybywa do Saturna

Pierwsze zdjęcia Saturna sonda wykonała 21 października 2002 roku z odległości 285 mln km. Podczas zbliżania się do planety wykonywano testy obserwacyjne instrumentów i wykorzystywano je do uściślenia elementów orbitalnych księżyców.

W drodze do Saturna, 11 czerwca 2004 roku, Cassini-Huygens przeleciał w odległości 2068 km od Febe, najdalszego z dużych księżyców planety. Po tym przelocie, w dniu 16 czerwca 2004 roku, wykonano ostatni manewr korekcyjny trajektorii przed dotarciem w pobliże planety.

1 lipca 2004 roku, nadlatując spod płaszczyzny pierścieni planety, sonda zbliżyła się do Saturna. O godz. 00:47 UTC Cassini-Huygens przeciął płaszczyznę pierścieni w kierunku wstępującym, przelatując przez przerwę pomiędzy pierścieniami F i G, w odległości 158529 km od centrum planety. O 01:12 UTC sonda uruchomiła na 96 minut silnik główny, wykonując manewr wejścia na orbitę wokół planety (*Saturn Orbit Insertion*; $\Delta v = 636.8$ m/s). W trakcie tego manewru, o 02:39 UTC, Cassini znalazł się w najmniejszej odległości od planety, 19 980 km nad powierzchnią chmur. O 04:34 UTC sonda ponownie przecięła płaszczyznę pierścieni, tym razem w kierunku zstępującym, w odległości 158776 km od centrum planety. Podczas obydwu przelotów przez płaszczyznę pierścieni sonda ustawiała się anteną główną (HGA) w kierunku lotu, tak by służyła ona jak osłona przed uderzeniami cząsteczek pyłu.

23 sierpnia 2004 roku został wykonany kolejny duży manewr (*Periapsis Raise Maneuver*, oznaczany też jako OTM-002; $\Delta v=393$ m/s), który podniósł punkt następnego wstępującego przecięcia płaszczyzny pierścieni aż w pobliże orbity Tytana. Pierwszy bliski przelot obok Tytana odbył się 26 października 2004 roku.

Lądowanie na Tytanie

W trakcie lotu do Saturna przymocowany do boku sondy Cassini próbnik Huygens przez większość czasu pozostawał nieaktywny. W tej fazie misji łącznie 16 razy przeprowadzono testy sprawdzające stan systemów pokładowych i instrumentów naukowych próbnika. W lutym 2000 roku wykonany został test sprawdzający łączność radiową pomiędzy próbnikiem i orbiterem podczas lądowania na Tytanie. W tym celu antenę Deep Space Network w Goldstone wykorzystano do przesłania sygnałów w paśmie S do odbiornika na pokładzie orbitera. Częstotliwość, amplituda i format sygnałów zostały zaprogramowane w taki sposób żeby symulować sygnały pochodzące z pokładu Huygensa podczas rzeczywistej misji. Rezultat testu był niepomyślny i wskazywał na utratę prawie wszystkich przesłanych danych. Przeprowadzone dochodzenie wykazało obecność błędu konstrukcyjnego w odbiorniku telemetrii próbnika Huygens na pokładzie orbitera. Nie był on w stanie prawidłowo dekodować odbieranych danych przy spodziewanej dopplerowskiej zmianie częstotliwości sygnału podczas przelotu próbnika przez atmosferę Tytana. Pierwotny projekt misji przewidywał lądowanie próbnika Huygens pod koniec pierwszej orbity wokół Saturna, z przelotem orbitera na wysokości 1200 km. Rozwiązanie problemu łączności wymagało dokonania takiej zmiany geometrii przelotu sondy Cassini obok Tytana, żeby zminimalizować prędkość orbitera względem lądującego próbnika. Planowane pierwsze dwie orbity wokół Saturna zostały zastąpione przez trzy orbity o krótszym okresie, z lądowaniem podczas trzeciej orbity i zbliżeniem orbitera Cassini do Tytana na odległość 60000 km. Zmniejszyło to przesunięcie dopplerowskie odbieranych

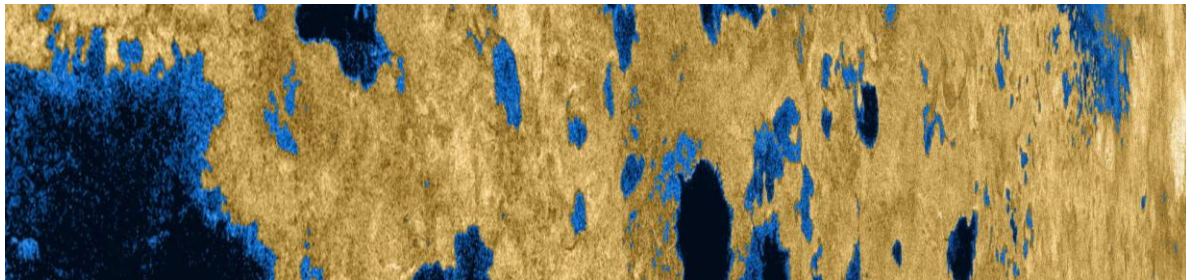
sygnałów do wartości, które nie zakłócały transmisji. Dodatkowo zdecydowano o wcześniejszym o 4 godziny włączeniu ogrzewania próbnika Huygens przed wejściem w atmosferę, co zwiększyło temperaturę oscylatora nadajnika pokładowego i stabilność jego pracy. Po drugim bliskim przelocie obok Tytana, w dniu 13 grudnia 2004 roku, sonda Cassini znalazła się na orbicie, która bez dalszej korekty doprowadziłaby do następnego przelotu w odległości około 4600 km od tego księżyca. 17 grudnia Cassini wykonał, przy użyciu silnika głównego, manewr, który wprowadził go na trajektorię prowadzącą do zderzenia z Tytanem (*Probe Targeting Maneuver*; $\Delta v = 11.94$ m/s). Dodatkowy niewielki manewr korekcyjny ($\Delta v = 0.02$ m/s) został wykonany 23 grudnia.



Łądowanie na Tytanie.

25 grudnia o 02:00 UTC próbnik Huygens został odłączony poprzez zdetonowanie sworzni pirotechnicznych i odepchnięty przez sprężyny od orbitera Cassini z prędkością około 0.33 m/s. Jednocześnie próbnikowi zostało nadane wirowanie z prędkością 7.5 obrotów na minutę, dla stabilizowania jego ustawienia w przestrzeni. 28 grudnia Cassini wykonał manewr zejścia z kursu kolizyjnego z Tytanem (*Orbiter Deflection Maneuver*; $\Delta v = 23.7$ m/s), który wraz z kolejnym manewrem w dniu 3 stycznia 2005 ($\Delta v = 0.14$ m s⁻¹) zapewnił właściwą trajektorię dla odbioru danych z próbnika podczas jego misji na Tytanie. Podczas trwającego dwadzieścia dni lotu w kierunku Tytana jedynymi czynnymi elementami na pokładzie próbnika Huygens były trzy zegary pokładowe. Aktywowały one funkcjonowanie próbnika na 4 h 23 min przed przewidzianym momentem wejścia w atmosferę. 14 stycznia 2005 o godzinie 09:05:52.523 UTC próbnik osiągnął wysokość 1270 km nad powierzchnią księżyca, która została zdefiniowana przez zespół nawigacyjny misji jako granica atmosfery. Wtargnięcie w atmosferę nastąpiło z prędkością 6 km/s, pod kątem $-65^{\circ}.6 \pm 0^{\circ}.3$ w stosunku do lokalnego horyzontu. Osłony próbnika zapewniły wyhamowanie do prędkości około 400 m/s na wysokości 155 km. W tym momencie komputery pokładowe przetwarzające dane z akcelerometrów zainicjowały sekwencję rozwinięcia spadochronów. Ładunek pirotechniczny wyrzucił spadochron pilotujący odrzucający tylną osłonę, która

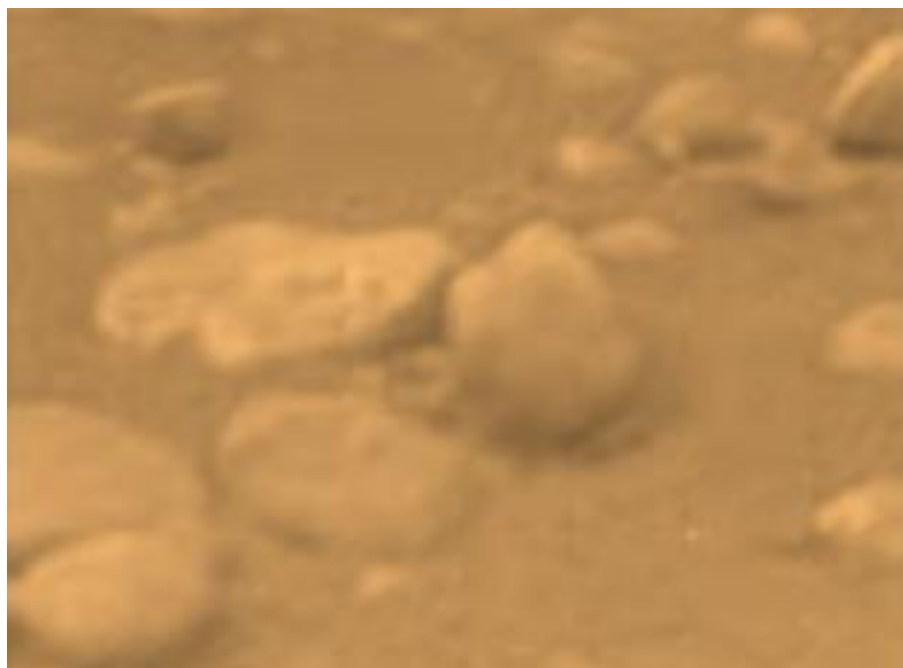
odpadając wyciągnęła z kolei spadochron główny. 30 sekund później odrzucona została osłona przednia. Następnie odrzucone zostały osłony i rozłożone wysięgniki instrumentów naukowych. 15 minut po rozłożeniu spadochronu głównego, na wysokości 111 km, został on odrzucony i zastąpiony przez mniejszy spadochron stabilizujący. Na wysokości 62 km włączone zostały wysokościomierze radarowe. Umożliwiły one optymalizację pomiarów wykonywanych przez instrumenty podczas ostatniej fazy opadania. Na wysokości 700 m nad powierzchnią włączona została lampa instrumentu DISR umożliwiająca wykonanie pomiarów widma refleksyjnego.



Radarowy obraz jezior węglowodorowych na Tytanie.

O 11:38:10.77 UTC Huygens wylądował bezpiecznie z prędkością pionową 4.54 m/s w miejscu o współrzędnych $10^{\circ}.25 \pm 0^{\circ}.17$ S, $192^{\circ}.32 \pm 0^{\circ}.24$ W. Sonda Cassini kontynuowała odbiór danych z próbnika aż do momentu jej zniknięcia pod lokalnym horyzontem w miejscu lądowania. Huygens kontynuował pracę przez przynajmniej 3 h 14 min od momentu lądowania, co potwierdzał odbiór sygnału nośnego jego nadajnika przez radioteleskopy na Ziemi. Łącznie próbnik przekazał około 130 Mbit danych naukowych i inżynierskich.

Niestety podczas misji próbnika wystąpiła anomalia w systemie łączności, która spowodowała całkowitą utratę danych przesyłanych przez nadajnik kanału A. Przyczyną był błąd w oprogramowaniu sterującym przesłanym na pokład sondy Cassini. Pominęto w nim komendę włączenia zasilania ultrastabilnego oscylatora odbiornika kanału A. W rezultacie odbiornik ten nie był w stanie odebrać sygnałów z pokładu próbnika. W wyniku anomalii utracono wszystkie dane z eksperymentu pomiarów dopplerowskich prędkości wiatru (DWE) oraz połowę z wykonanych zdjęć powierzchni Tytana. Dane z pozostałych eksperymentów były przesyłane niezależnie przez obydwa kanały łączności i zostały odebrane w całości przez odbiornik kanału B. Rezultaty eksperymentu DWE zostały w dużej mierze odzyskane dzięki analizie sygnału nośnego kanału A odbieranego przez sieć radioteleskopów na powierzchni Ziemi. Dodatkowo sygnały te posłużyły do przeprowadzenia eksperymentu interferometrii wielkobazowej (VLBI) w celu rekonstrukcji trajektorii przelotu próbnika przez atmosferę.



Fragment powierzchni Tytana. Widoczne „otoczaki” mają rozmiary rzędu decymetra.

Inną anomalią podczas misji, było niespodziewane wirowania próbnika wokół swej osi. Początkowy kierunek wirowania przeciwny do ruchu wskazówek zegara zmniejszył się bardziej gwałtownie niż przewidziano po rozwinięciu spadochronu głównego i po około 10 minutach zmienił kierunek na przeciwny. Przyczyna tego zachowania nie jest znana.

Planeta, księżyce, pierścienie

Po wykonaniu manewru wejścia na orbitę wokół Saturna, sonda Cassini rozpoczęła realizację zaplanowanej na cztery lata głównej misji badawczej. Ze względu na doskonały stan orbitera, po jej zakończeniu, misja sondy została przedłużona pod nazwą Misja Równonocy. W październiku 2010 roku rozpoczęła się druga z kolei misja przedłużona – Misja Przesilenia. Zakończyła się ona 15 września 2017 roku, zniszczeniem sondy w atmosferze Saturna. Łącznie, w trakcie całej misji, Cassini wykonał 294 orbity w układzie Saturna. Do zmieniania parametrów orbity sondy wykorzystywano asysty grawitacyjne ze strony Tytana. Podczas typowego przelotu na wysokości 950 km nad powierzchnią tego księżyca, uzyskiwana dzięki asyście Δv wynosiła około 800 m/s. Manewry z użyciem silników sondy służyły do przeprowadzania niewielkich korekt trajektorii oraz do dokonania jej zmiany w sytuacjach, gdy manewr asysty grawitacyjnej nie był wystarczający.

Misja podstawowa

Podczas trwającej cztery lata, do 1 lipca 2008 roku, podstawowej misji orbitalnej, Cassini wykonał 75 orbit wokół Saturna (oznaczonych kolejno literami A, B, C oraz liczbami 3–74). W tym czasie orbiter dokonał 45 bliskich prze-

lotów obok Tytana oraz wykonał celowane przeloty obok sześciu innych księżyców: Enceladusa (4razy), Febe, Hyperiona, Dione, Rei i Japeta. Zrealizowano też wiele odleglejszych przelotów obok innych księżyców. Zmieniający się kąt nachylenia orbity sondy pozwolił na przeprowadzenie obserwacji zarówno strefy równikowej, jak i rejonów biegunowych planety. Misja podstawowa została podzielona na sześć kolejnych faz:

- Wejście na orbitę i misja Huygensa (czerwiec 2004 – 15 lutego 2005); orbity A–3.

Przelot sondy obok Febe w drodze do Saturna. Manewr wejścia na orbitę. Pierwsze trzy bliskie przeloty obok Tytana. Lądowanie próbnika Huygens na powierzchni Tytana.

- Sekwencje okultacji (zakryć) pierścienia (15 lutego 2005 – 7 września 2005); orbity 3–14.

Orbity sondy początkowo leżały w płaszczyźnie równikowej, a następnie zostały do niej nachylone. Obserwacje pierścieni planety (fotografie o wysokiej rozdzielczości, filmy, okultacje radiowe i gwiazdowe) ukazały ich złożoną strukturę. 4 przeloty obok Tytana. 3 bliskie zbliżenia sondy do Enceladusa, które doprowadziły do odkrycia na jego powierzchni aktywnego kriosulkanizmu.

- Księżyce lodowe i ogon magnetosfery (7 września 2005 – 22 lipca 2006); orbity 14–26.

Orbity sondy pozostawały w płaszczyźnie pierścieni i księżyców, ale stopniowo ulegały rotacji, aż do sięgnięcia poza planetę, do ogona magnetosfery. Cassini miał najlepsze podczas misji głównej warunki do obserwacji wielu księżyców lodowych, w tym Kalipso, Tetydy, Telesto, Dione, Rei i Hyperiona oraz bardzo dobry wgląd w dynamikę atmosfery planety. Wykonał dziesięć przelotów obok Tytana.

- Transfer o 180 stopni; pierścienie i MAPS (22 lipca 2006 – 30 czerwca 2007); orbity 26–47.

Orbity sondy leżące poprzednio w płaszczyźnie pierścieni stawały się coraz mniejsze i bardziej nachylone, aż do momentu, gdy Cassini napotkał Tytana po przeciwnej stronie planety (tzw. transfer o 180 stopni), a orbita powróciła do płaszczyzny równikowej. Umożliwiło to wykonanie szczegółowych badań magnetosfery i atmosfery Saturna oraz, po raz pierwszy, obserwacje planety i jej pierścieni widzianych znad biegunów. 17 przelotów obok Tytana.

- Przelot obok Japeta i księżyce lodowe (30 czerwca 2007 – 14 września 2007); orbity 47–49.

Jedyny podczas całej misji bliski przelot obok Japeta (10 września 2007). 2 przeloty obok Tytana, przelot obok Rei i najlepsze podczas misji głównej obserwacje Heleny.

- Pierścienie i MAPS (14 września 2007 – 1 lipca 2008); orbity 49–74.

Nachylenie orbit sondy w tej fazie misji stawało się coraz większe, a ich okres coraz mniejszy. Umożliwiło to wykonanie szczegółowych obserwacji systemu pierścieni. 9 przelotów obok Tytana. Bliski przelot (w odległości 48 km od

powierzchni) nad Enceladusem. Najlepsze podczas misji głównej obserwacje Epimeteusza.

Misja Równonocy

Misja przedłużona znana jest także pod nazwą Misja Równonocy (*Cassini Equinox Mission*), ponieważ w jej trakcie Saturn przeszedł 11 sierpnia 2009 roku w swoim ruchu orbitalnym przez punkt równonocy. Plan rozpoczętej 1 lipca 2008 roku misji przewidywał początkowo dwuletni jej okres (do 1 lipca 2010), ale późniejsze dokumenty określały datę jej zakończenia, jako 27 września albo 11 października 2010. Do głównych celów naukowych misji przedłużonej należały:

- Przeprowadzenie bardziej szczegółowych obserwacji księżyców Saturna, w szczególności Tytana i Enceladusa.
- Monitorowanie zmian sezonowych na Tytanie i Saturnie.
- Zbadanie nowych regionów magnetosfery Saturna.
- Obserwacje unikalnej geometrii pierścieni Saturna podczas równonocy, kiedy światło słoneczne padało prosto przez płaszczyznę pierścieni.

Podczas Misji Równonocy odbyło się 27 bliskich przelotów obok Tytana i 7 zbliżeń do Enceladusa (w tym dwa na odległość jedynie 25 km od powierzchni). Cassini wykonał również stosunkowo bliskie przeloty obok Mimasasa (6 razy), Tetydy (8 razy), Dione (3 razy, w tym jeden w odległości 500 km), Rei (5 razy, w tym jeden w odległości 100 km) oraz wiele zbliżeń do małych księżyców, w tym przelot w odległości 1800 km od Heleny. Głównym wydarzeniem misji był okres równonocy. Gdy Słońce przechodziło przez płaszczyznę pierścieni Saturna, księżyce rzucały cień na planetę i pierścienie. Także pionowe struktury wewnątrz pierścieni rzucały własne cienie, co uwidaczniało drobne szczegóły ich budowy. Przedłużona misja pozwoliła też na zwiększenie pokrycia obrazami radarowymi powierzchni Tytana z 22% (podczas misji głównej) do 30%. Orbity sondy podczas misji przedłużonej charakteryzowało początkowo wysokie nachylenie, by w drugiej jej połowie wrócić do płaszczyzny równikowej. Cassini wykonał też ponowny transfer orbity o 180 stopni.

Misja Przesilenia

Kolejna misja przedłużona (*Extended-extended Mission*) znana jest pod nazwą Misja Przesilenia (*Cassini Solstice Mission*), ponieważ w jej trakcie, 24 maja 2017 roku, na Saturnie miało miejsce przesilenie letnie. Cassini przybył do Saturna krótko po momencie przesilenia zimowego, dlatego umożliwiło to przeprowadzenie obserwacji zmian sezonowych przez prawie połowę roku saturnowego. Do najważniejszych celów naukowych drugiej misji przedłużonej należały:

- Tytan – obserwacja zmian sezonowych i krótkoterminowych; szczególna uwaga została zwrócona na: jeziora węglowodorowe i inne materiały na powierzchni księżyca; budowę wewnętrzną; aerozole i cząsteczki

o dużej masie; gęstość górnych warstw atmosfery; topografię powierzchni; temperaturę na powierzchni i obłoki; wiatry.

- księżyce lodowe – obserwacje potencjalnej zmienności czasowej aktywności Enceladusa; szczególna uwaga została zwrócona na: podpowierzchniowy ocean i budowę wewnętrzną Enceladusa; poszukiwanie wewnętrznej aktywności na Dione, poszukiwanie hipotetycznego pierścienia wokół Rei; interakcje Tetydy z magnetosferą; wewnętrzne zróżnicowanie Rei.
- pierścienie – obserwacje zmiennego kąta otwarcia i zmienności czasowej; szczególna uwaga została zwrócona na: określenie wieku i masy pierścieni; mechanizm oczyszczania przerw w pierścieniach; zróżnicowanie składu; strukturę "śmigieł" (*propellers*); badania *in situ* pierścienia D.
- Saturn – obserwacja zmian sezonowych; szczególna uwaga została zwrócona na: określenie okresu rotacji; burze polarne; gazy śladowe; wyładowania atmosferyczne; jonosferę; strukturę wewnętrzną.
- magnetosfera – obserwacja efektów sezonowych i związanych z cyklem aktywności słonecznej; szczególna uwaga została zwrócona na: dynamikę ogona magnetycznego; wewnętrzne pasy radiacyjne; okresowości w magnetosferze; sprzężenie z jonosferą Saturna i pierścieniami.

Podczas Misji Przesilenia odbyło się 56 bliskich przelotów obok Tytana i 12 zbliżeń do Enceladusa. Dodatkowo Cassini wykonał 3 bardzo bliskie przeloty obok Dione, 2 obok Tetydy, oraz po jednym obok Methone, Telesto, Rei, Epimeteusza i Aegaeona. Orbity sondy naprzemiennie przebiegały w płaszczyźnie równikowej planety (październik 2010 – maj 2012 oraz marzec 2015 – styczeń 2016) bądź miały wysokie do niej nachylenie (maj 2012 – marzec 2015 oraz styczeń 2016 – listopad 2016).

Orbity muskające pierścień (30 listopada 2016 – 22 kwietnia 2017); orbity 251–270

Przedostatni bliski przelot obok Tytana, w dniu 29 listopada 2016 roku, obniżył peryapsis orbity ze 158000 km do 90000 km nad powierzchnią chmur planety i jednocześnie zwiększył jej nachylenie do $63^{\circ}.8$. Sonda w peryapsis znalazła się w okolicy orbit Janusa i Epimeteusza, w odległości jedynie 10000 km poza pierścieniem F. Cassini wykonał następnie kolejno 20 tzw. *orbit muskających pierścień* (*Ring-Grazing Orbits*), nazywanych także *orbitami pierścienia F* (*F-ring Orbits*). Umożliwiły one wykonanie obserwacji pierścieni F i A o wysokiej rozdzielczości, okultacje pierścieni i przecinanie przez sondę linii pola zorzowego. Cassini wykonał zdjęcia o najwyższej rozdzielczości podczas całej misji księżyców Epimeteusz, Pandora, Atlas, Pan i Daphnis.

Grand Finale (23 kwietnia 2017 – 15 września 2017); orbity 271–293

Ostatnia faza misji otrzymała oficjalną nazwę *Grand Finale*. Manewr asysty grawitacyjnej podczas ostatniego bliskiego przelotu obok Tytana, 22 kwietnia

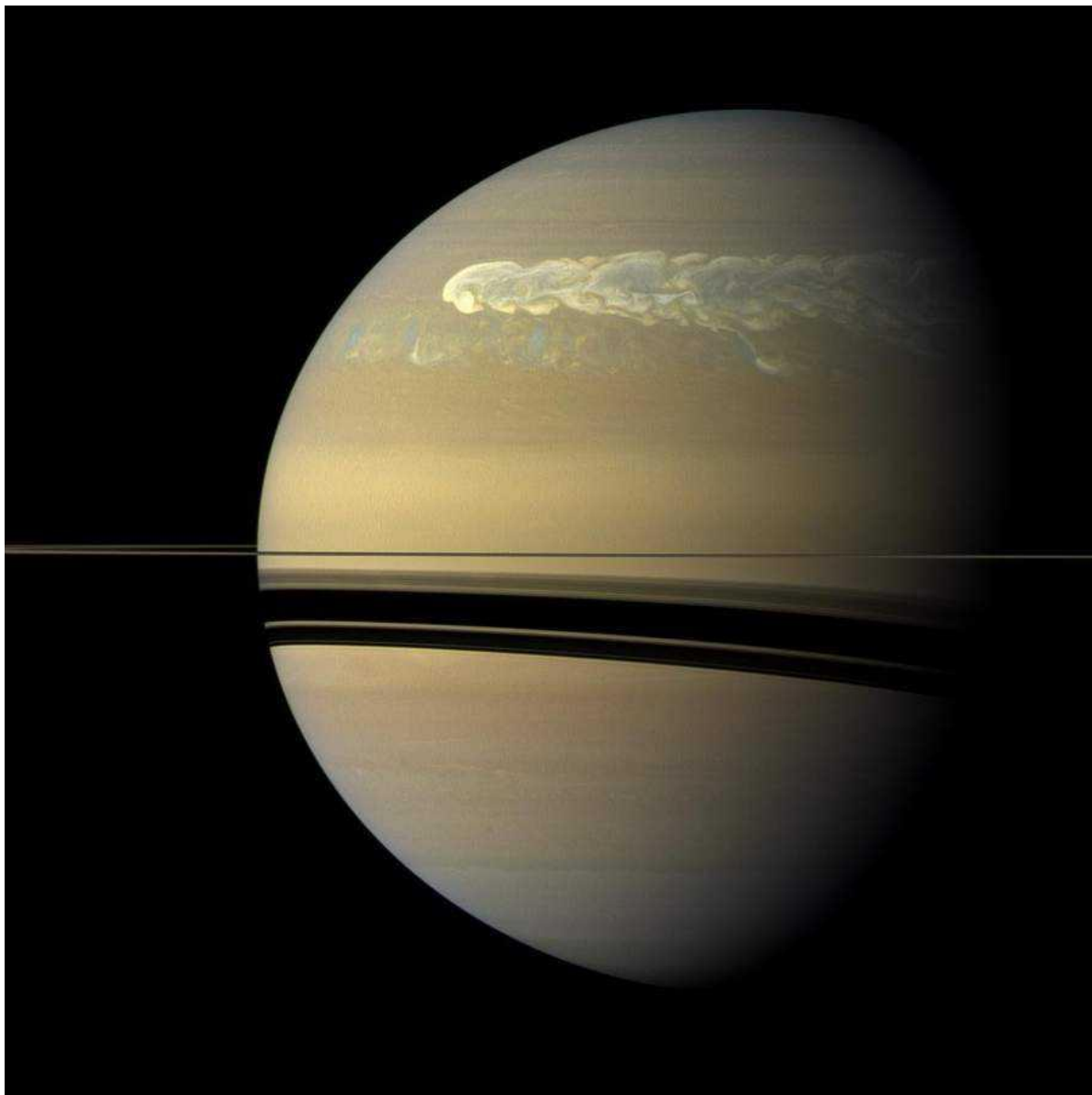
2017 roku, spowodował przeskok orbity sondy przez główny układ pierścieni. Peryapsis znalazło się w wąskiej strefie pomiędzy wewnętrznym brzegiem pierścienia D i planetą. Cassini wykonał kolejno 22 tzw. *orbit proksymalnych*. W ich trakcie sonda oddalała się w apoapsis na odległość około 1272000 km od Saturna a w peryapsis zbliżała na zaledwie 1700–2500 km ponad szczytami jej chmur. Okres obiegu wokół planety wynosił od 6.4 do 6.5 dnia a nachylenie orbity względem równika $62^{\circ}.4$ – $61^{\circ}.7$. Pierwszy w historii przeLOT między Saturnem a jego pierścieniami sonda wykonała 26 kwietnia.

Orbity proksymalne pod wieloma względami przypominały misję sondy Juno do Jowisza. W ich trakcie Cassini przeprowadził bardzo precyzyjne pomiary pola magnetycznego i grawitacyjnego Saturna, co pozwoliło lepiej określić strukturę wnętrza planety i być może umożliwił ustalenie okresu jego rotacji. Możliwe stanie się wyznaczenie masy pierścieni, co pomoże zrozumieć ich pochodzenie. Zrealizowane zostały badania *in situ* wewnętrznych pasów radiacyjnych, składu jonosfery planety oraz pierścienia D. Wykonane zostały obserwacje pierścieni głównych i atmosfery Saturna o najwyższej rozdzielczości.

Trajektorie poszczególnych przelotów przez płaszczyznę pierścieni podczas peryapsis różniła się od siebie, co umożliwiło wykonanie różnego typu badań. Podczas przelotów w dniach 28 maja, 4 czerwca, 29 czerwca i 6 lipca Cassini, chroniony przez swoją antenę główną, przelatywał przez wewnętrzne obszary pierścienia D, badając skład materii pierścienia. Podczas pięciu przelotów w dniach 14, 20 i 27 sierpnia oraz 2 i 9 września, sonda zanurzała się w zewnętrzne warstwy atmosfery Saturna, bezpośrednio pobierając jej próbki do analizy. Podczas ostatniego z tych przelotów, w dniu 9 września, Cassini zbliżył się do planety na odległość zaledwie 1680 km ponad szczytami chmur.

Ostatnie grawitacyjne pchnięcie wywołane odległym na 119 tysięcy km przelotem obok Tytana, w dniu 11 września 2017 roku, spowodowało dalsze obniżenie peryapsis, poniżej pokrywy chmur planety. W wyniku tego, 15 września 2017 roku o 10:32 UTC, sonda uległa zniszczeniu podczas wtargnięcia w atmosferę Saturna. Nastąpiło to na wysokości około 1500 km ponad szczytami chmur w okolicy równoleżnika 10° N. Aż do momentu utraty łączności, Cassini przekazywał w czasie rzeczywistym dane z instrumentów naukowych, w tym z magnetometru oraz spektrometru mas INMS, określającego skład atmosfery. Ostatni sygnał radiowy z sondy został odebrany na Ziemi o godzinie 11:55:46 UTC. Sygnał na Ziemię docierał z 86 minutowym opóźnieniem.

Decyzja o zakończeniu misji wynika z wyczerpywania się zapasów paliwa dla silników korekcyjnych, co doprowadziłoby do utraty kontroli nad sondą. Wprowadzenie w atmosferę planety zapobiegło przypadkowemu zderzeniu sondy w przyszłości z Tytanem lub Enceladusem, co mogłoby doprowadzić do skażenia środowisk potencjalnie sprzyjających istnieniu życia.



Jedna z burz w atmosferze Saturna.

Wybrane rezultaty naukowe misji

- Stwierdzono obecność zbiorników ciekłych węglowodorów na powierzchni Tytana.
- Ligeia Mare, drugie co do wielkości morze na Tytanie, ma głębokość około 170 m i składa się głównie z metanu.
- Pierwsze obserwacyjne dowody na opady deszczu metanowego na obszarach równikowych Tytana.
- Na obszarach równikowych Tytana rozpościerają się rozległe pasy piaszczystych wydm o długości dziesiątek i setek kilometrów.
- Temperatura i ciśnienie na powierzchni Tytana w miejscu lądowania próbnika Huygens wynosiły 93.65 ± 0.25 K i 1467 ± 1 hPa.
- Na Enceladusie, Tytanie i Dione mogą istnieć podpowierzchniowe oceany płynnej wody.

- Czynny kriowulkanizm na Enceladusie. W okolicach południowego bieguna księżycy istnieją anomalnie ciepłe rozpadliny (tzw. „tygrysie pasy”) i gejzery, z których biją strugi materii. Na Enceladusie prawdopodobnie obecne są podpowierzchniowe zbiorniki ciekłej wody.
- W rejonie południowego bieguna Enceladusa na głębokości od 30 do 40 km istnieje prawdopodobnie podpowierzchniowy ocean płynnej wody sięgający do rejonu równoleżnika 50°S.
- Obecność pochodzących z Enceladusa cząsteczek pyłu krzemionkowego wskazuje na czynną aktywność hydrotermalną we wnętrzu tego księżycy. W strugach materii wyrzucanej z Enceladusa obecny jest wodór cząsteczkowy powstający prawdopodobnie w wyniku procesów hydrotermalnych. Ponieważ może on stanowić źródło energii chemicznej dla organizmów żywych, jego obecność świadczy, że w podpowierzchniowym oceanie księżycy mogą istnieć warunki sprzyjające dla obecności życia.
- Strugi materii wyrzucane przez gejzery na Enceladusie zasilają pierścień E Saturna.
- Pomędzy Enceladusem i Saturnem istnieje sprzężenie elektrodynamiczne. Strumienie jonów i elektronów pochodzące z Enceladusa tworzą obserwowalną zorzę w atmosferze Saturna
- Odkrycie księżyców: Methone, Pallene, Polideukes, Daphnis, Anthe i Aegaeon.
- Księżyc Aegaeon jest prawdopodobnie źródłem materii pierścienia G.
- Odkrycie pierścienia związanego z księżycami Janus i Epimeteusz, pierścienia księżycy Pallene oraz częściowych pierścieni (łuków) związanych z księżycami Methone i Anthe.
- Wewnątrz pierścienia A istnieje populacja obiektów o średnicy 40–500 m (*moonlets*), które wytwarzają w pierścieniu struktury o kształcie "śmigieł" (*propellers*). W zewnętrznej części pierścienia A, poza przerwą Enckego, istnieje osobna populacja większych obiektów o średnicy 1–2 km.
- Obecność obiektu S/2009 S 1 o średnicy około 400 m wewnątrz pierścienia B.
- Na równiku Japeta rozpościera się grzbiet górski o długości około 1300 km i wysokości szczytów do 20 km.
- Rea posiada śladową atmosferę złożoną z tlenu cząsteczkowego i dwutlenku węgla.
- Dione posiada egzosferę złożoną z tlenu cząsteczkowego.
- Okresy modulacji promieniowania kilometrowego Saturna (*Saturn Kilometric Radiation*) są odmienne dla północnej i południowej półkuli planety i zmienne w czasie. Okresy modulacji dla obydwu półkul odwróciły się w pobliżu momentu równonocy na planecie.
- Wewnętrzny pas radiacyjny rozpościera się pomiędzy szczytami atmosfery Saturna a brzegiem pierścienia D.

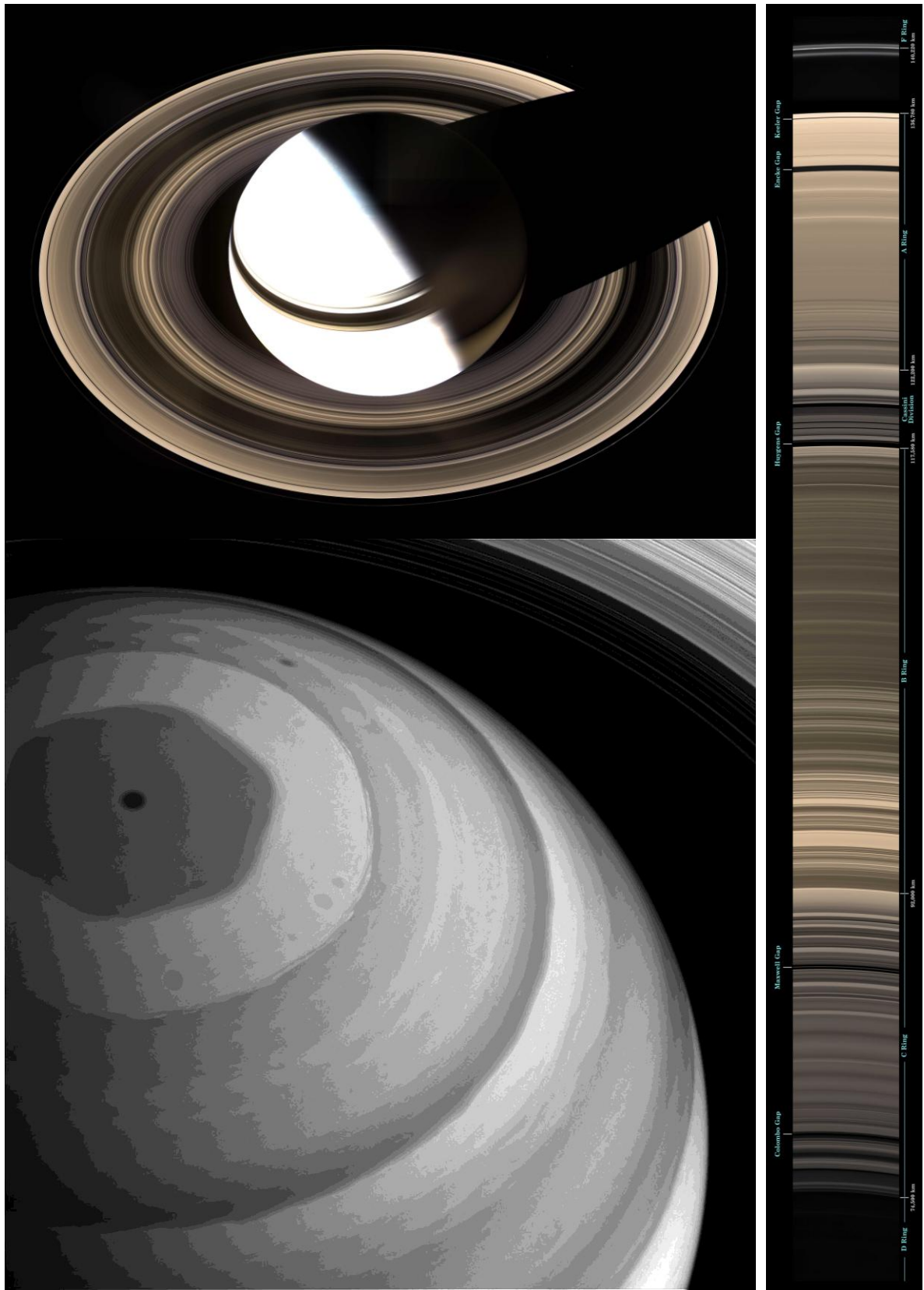
- Stacjonarne cyklony zajmują obszary obydwu biegunów Saturna.
- Ciemniejsze pasy w atmosferze Jowisza są obszarami, w których zachodzą wznoszące ruchy konwekcyjne, natomiast w jaśniejszych strefach przeważają ruchy opadające. Jest to wynik odwrotny od powszechnie uznawanego przez kilkadziesiąt lat modelu.
- Obrazy uzyskane z pomiarów energetycznych atomów neutralnych przez instrument MIMI / INCA sugerują, że heliosfera ma kształt przypominający sferyczną bańkę, a nie, jak poprzednio uważano, kształt kometopodobny.

Ile to kosztowało?

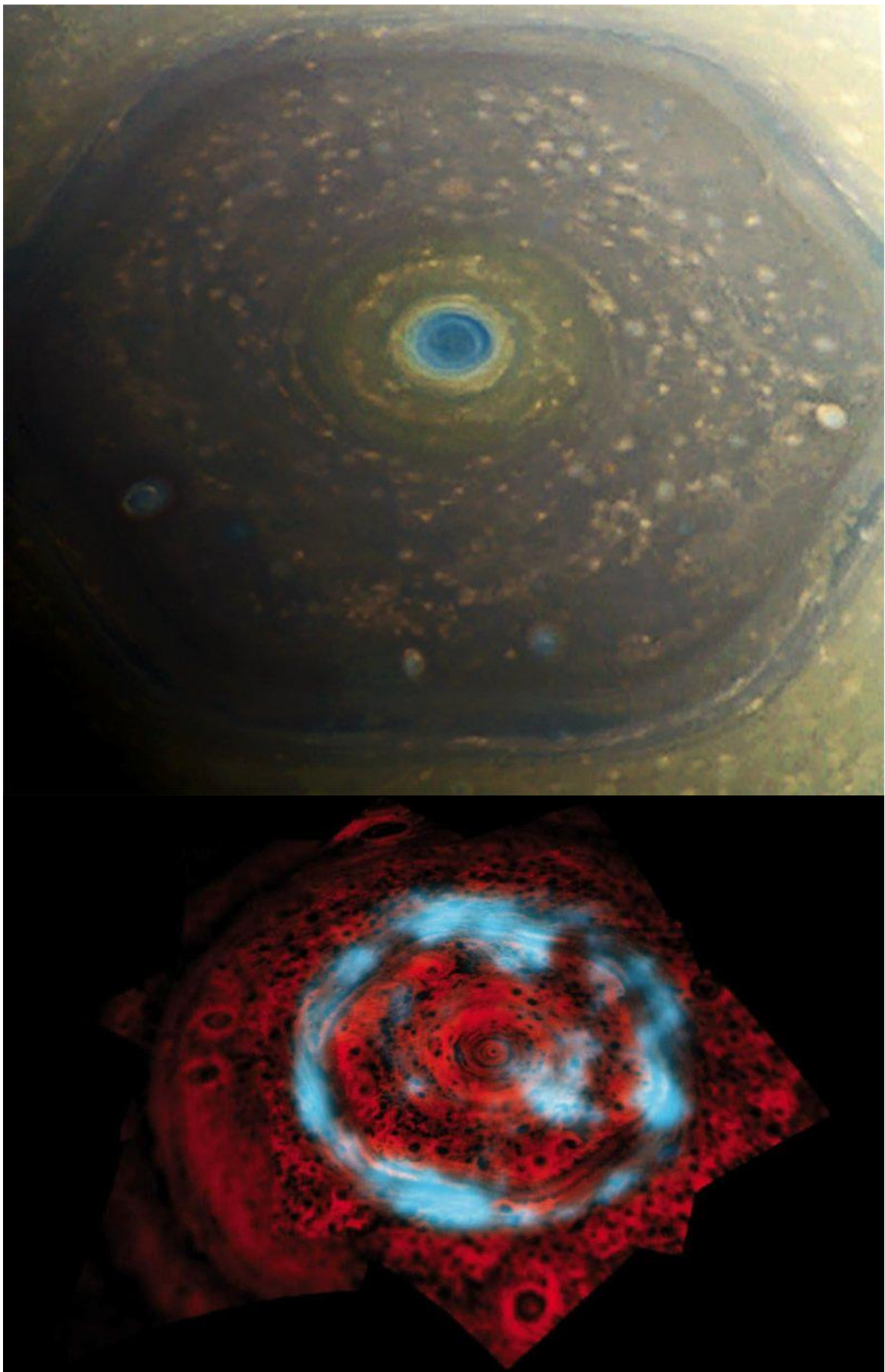
Misja Cassini była prowadzona dla NASA przez Jet Propulsion Laboratory w Pasadenie. Całkowity koszt misji, od etapu planowania do zakończenia misji głównej 1 lipca 2008 roku, wyniósł (według danych z 2004) około 3.27 mld USD, z tego koszty amerykańskie wynosiły 2.6 mld USD (koszty przedstartowe 1.422 mld, koszty operacyjne misji 710 mln, śledzenie 54 mln i rakieta nośna 422 mln) (razem ok. 80% kosztów), koszty ESA 500 mln USD (ok. 15%), a włoskiej agencji ASI 160 mln USD (ok. 5%). Koszty misji przedłużonej (od 1 lipca 2008 do 30 września 2010 roku) wyniosły 180 mln USD. Koszt misji przedłużonej-przedłużonej (od października 2010 do września 2017 roku) wynosił po około 60 mln USD rocznie. Czy to dużo? Wydaje się, że nie, to niespełna 7 (słownie: siedem) dolarów na każdego obywatela USA i UE, w dodatku rozłożone na dwadzieścia lat. Zatem pora na kolejną sondę ku Saturnowi – orbiter, próbnik atmosferyczny – a może dron na Tytana? Choć niektórzy preferują żagłówek...



Saturn widoczny z sondy tuż przed jej wejściem w atmosferę.



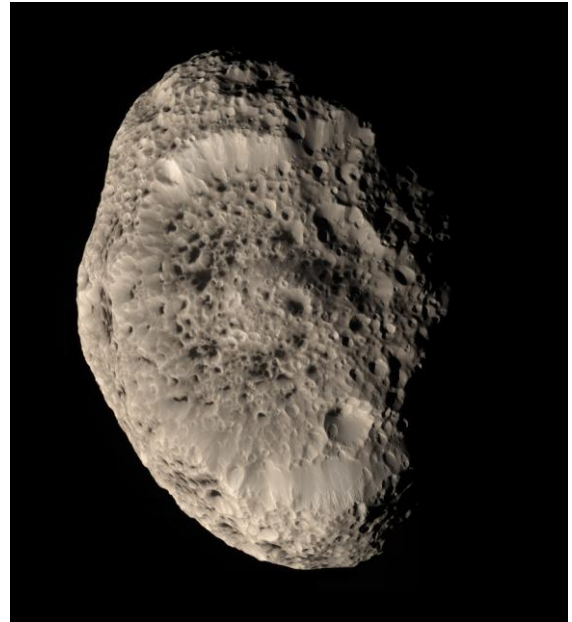
Cienie na Saturnie (u góry), sześciokątna struktura na biegunie północnym (u dołu) i rozkład pierścieni Saturna (z boku).



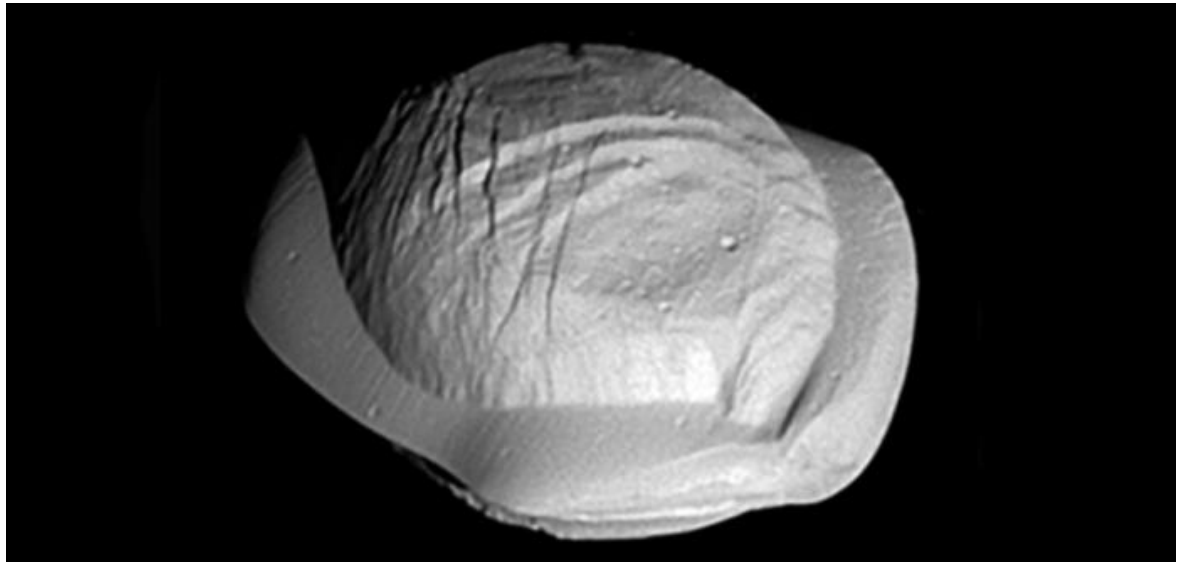
Sześciokątna struktura na biegunie północnym Saturna (z góry).



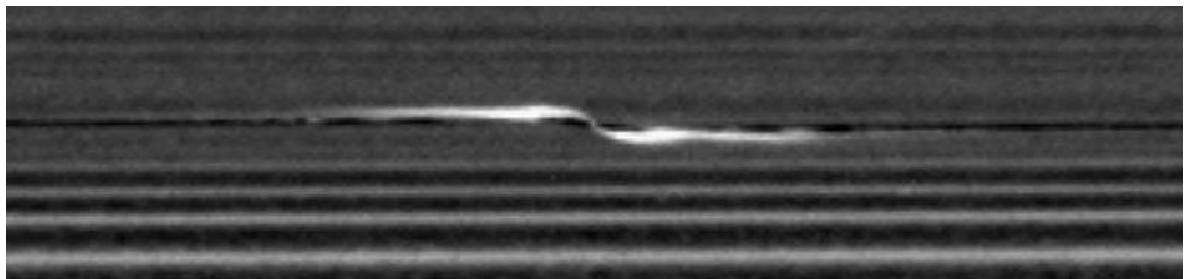
Grzbiet równikowy Japeta.



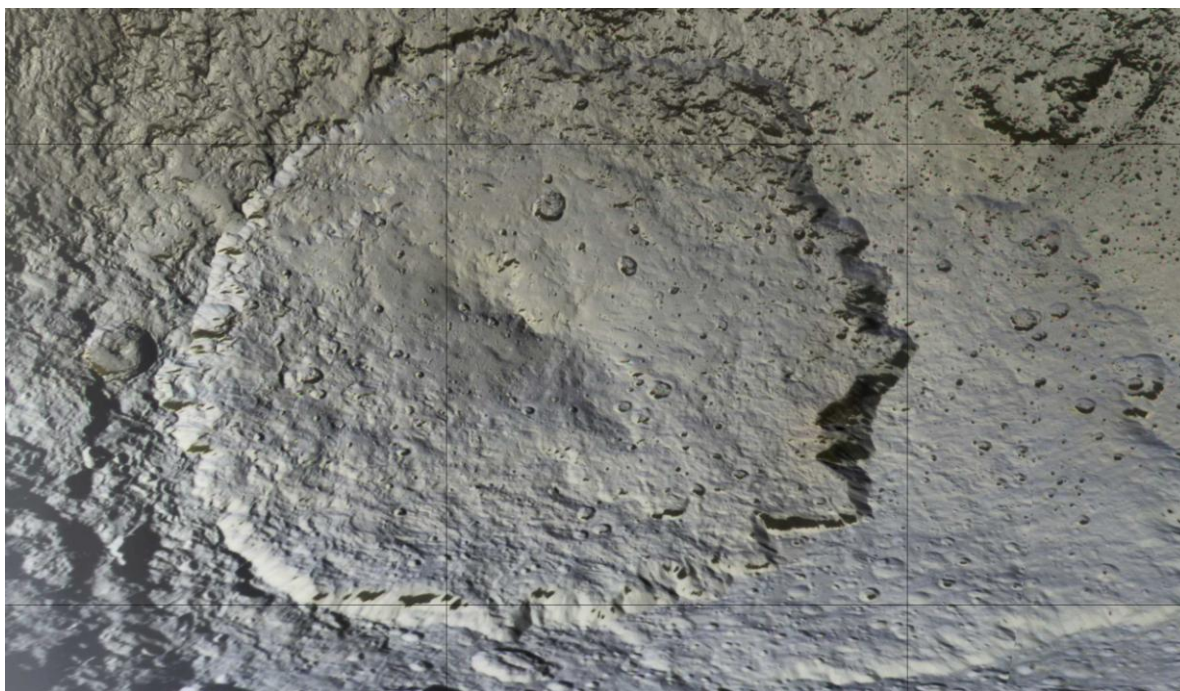
Gąbczasty księżyc Hyperion



Dziwaczny w kształcie księżyc Pan.



„Śmigło Santosa-Dumonta” – zaburzenie w pierścieniu A, wywołane przez jeden z mini księżyców Saturna.



Fragment powierzchni Japeta.



Koniec misji – Cassini płonie w atmosferze Saturna.

(Zamieszczone w artykule fotografie są publicznie udostępnione w Internecie przez agencje partycypujące w misji Cassini)

Część czwarta
(przyczynki naukowe)



Uczestnicy IX konferencji młodych z serii *Astrophisica Nova*
(OAKJ w Rzepienniku Biskupim, 29-30 września 2017).

The LIGO Fight Song*

Virginia Trimble^{1,2}

¹ Dept. of Physics & Astronomy, Univ. of California, Irvine CA 92597-4575, USA

² Queen Jadwiga Astronomical Observatory, Rzepiennik Biskupi, Poland

THE LIGO FIGHT SONG

The LI - GO team's a mighty corps, A thousand strong or
 even more, but prizes go to only three,
 Rai Weiss, Kip Thorne, and Ron - ald D

(In case it's not obvious, "corps" (meaning a group doing things together - Signal Corps, corps de ballet, etc.) is pronounced as if written "core" and so rhymes with "more")

(verse)

The Gruber, Shaw, and Kavli Prize,
 And Breakthroughs, did you realize?
 The first event on Joe's Yahrzeit,
 From two black holes, embracing tight.

The first event caused quite a fuss;
 The second made us sure.
 The third came with r-process gold;
 Our jobs are now secure.

The Stockholm snows those three will brave
 And pick up medals gold.
 They'll dine, and dance, and meet the King,
 And come home feeling bold.

While back at home, Joe Weber died
 Unhonored by his peers.
 If peers he had, I rather doubt,
 I've mourned him through the years.

(chorus)

The LIGO team's a mighty corps,
 A thousand strong, or even more.
 But prizes go to only three,
 Rai Weiss, Kip Thorne, and Ronald D.

The LIGO team's a mighty core,
 Two thousand strong, or even more.
 But prizes go to only three,
 Rai Weiss, Kip Thorne, and Barry B

The LIGO team's a mighty core,
 Three thousand strong, or even more.
 But prizes go to only three,
 Kip Thorne, Rai Weiss, but never me.

The LIGO team's a mighty corps,
 Four thousand strong, or even more.
 But prizes go to three, you know,
 Kip Thorne, Rai Weiss, but never Joe

The Weber Prize to Rai Weiss goes,
Endowed to honor Joe.
I sold our house to fund the thing.
Thank G.d he'll never know.

The LIGO team's a mighty corps,
A thousand strong or even more.
But this prize goes to only one,
So please take heart, my song is done

(The 4th chorus is sung in a minor key (G_{minor} where it stays G), and the last E in the tune become E-flat. Verses one may sing in a Hip – Hop style).



Virginia Trimble w OAKJ (8.06.2015) (fot. A. Kuźmicz)

*) Zapytałem Virginię o jej osobistą „pieśń” do CKA2018 na temat nagrody Nobla za odkrycie fal grawitacyjnych. Miałem na myśli jakiś artykulik. Odpowiedziała żartobliwie, czy chodzi mi o prawdziwą piosenkę, bo jeśli tak, to ona może ją stworzyć. Podchwyciłem propozycję z entuzjazmem i jest efekt. Śpiewajmy wraz z Virginią! (przyp. red. BW)

Fale grawitacyjne – nowe okno na Wszechświat

Marek Biesiada

Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach

Wstęp

W dniu 11.02.2016 podczas konferencji prasowej zespół projektu LIGO publicznie ogłosił oczekiwaną od dawna laboratoryjną detekcję fal grawitacyjnych. Sygnał zarejestrowany został w dniu 14.09.2015 o godz. 09:15 UTC przez dwa laserowe detektory fal grawitacyjnych umieszczone w Hamford i Livingstone w USA. Uznano, że sygnał pochodził z rejestru ostatnich chwil ewolucji podwójnego układu czarnych dziur, o masach 29 i 36 mas Słońca, tuż przed ich złaniem się w gigantycznej kosmicznej katastrofie (koalescencji). Energia wypromieniowana w postaci fal grawitacyjnych, w przeciągu ułamka sekundy, była równoważna 3 masom Słońca. Dziewięcioro Polaków (członków polskiego projektu POLGRAW) jest współautorami pracy¹ ogłaszającej detekcję fal grawitacyjnych. Wydarzenie to otwarło nowe okno na Wszechświat i zapoczątkowało erę obserwacyjnej astrofizyki fal grawitacyjnych. Waga tego faktu została oficjalnie uznana przyznaniem 3 października 2017 nagrody Nobla w dziedzinie Fizyki trójce uczonych², którzy wnieśli dominujący wkład w powstanie i rozwój interferometrycznych detektorów fal grawitacyjnych w laboratoriach projektu LIGO.

W dniu 16 października 2017 odbyła się kolejna doniosła konferencja prasowa zespołu LIGO/Virgo. Ogłoszono na niej pierwszą w historii detekcję fal grawitacyjnych pochodzących z koalescencji dwóch gwiazd neutronowych, której towarzyszyły obserwacje tego zjawiska w dziedzinie fal elektromagnetycznych: promieni gamma, promieni X, w obszarze długości fal widzialnych oraz w dziedzinie radiowej. Zdarzenie to dopełniło otwarcia się nowego okna na Wszechświat nadając nowego wymiaru tzw. astrofizyce wielu nośników informacji (ang. *multimessenger astronomy*).

Fale grawitacyjne

Istnienie fal grawitacyjnych wynika z ogólnej teorii względności (OTW). Jest ona obowiązującą obecnie teorią grawitacji, w myśl której istotą grawitacji jest zakrzywienie czasoprzestrzeni przez materię. Zatem grawitacja przestaje być polem fizycznym, a staje się geometryczną własnością „areny zdarzeń” (czasoprzestrzeni), na której „dzieje się” fizyka. Będące centralnym punktem ogólnej teorii względności, równania Einsteina:

¹ Abbott B.P. et al., „Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger”, *Phys.Rev.Lett.* 116, 061102 (2016)

² Otrzymali ją Rainer Weiss, Barry Barish i Kip Thorne. Po ogłoszeniu udanej detekcji fal grawitacyjnych pewnymi kandydatami byli Weiss, Thorne i Ronald Drever, który niestety zmarł w marcu 2017.

$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta}$$

zwykle podsumowuje się znanym popularnym stwierdzeniem³: „materia mówi przestrzeni jak się zakrzywić, przestrzeń mówi materii jak się poruszać”. Istotnie, lewą stronę równań Einsteina stanowi tzw. tensor Einsteina $G_{\alpha\beta}$, skonstruowany z tensora krzywizny Riemanna czasoprzestrzeni. Stojący zaś po prawej stronie tensor energii-pędu $T_{\alpha\beta}$ opisuje rozkład w czasoprzestrzeni materii, energii i ich przepływów. Wielkości te wiąże ze sobą współczynnik (stała sprężenia) $8\pi Gc^{-4}$. Warto przyjrzeć się jego wartości. W układzie jednostek SI jest on rzędu 10^{-43}N^{-1} . Znikomość stałej sprężenia mówi, iż dopiero coś niesamowicie potężnego lub gwałtownego ze strony materii jest w stanie zakrzywić czasoprzestrzeń w zauważalny sposób. Z tego też powodu nie jesteśmy w stanie, w prosty i oczywisty sposób, doświadczać zakrzywienia czasoprzestrzeni. Z drugiej strony newtonowski opis oddziaływań grawitacyjnych okazuje się po dzień dzisiejszy niesamowicie skuteczny w wielu działach astronomii, dostarczając bardzo precyzyjnych (i sprawdzonych z dużą dokładnością) modeli zjawisk od Układu Słonecznego po dynamikę układów gwiazdowych (galaktyk). Einstein tuż po sformułowaniu OTW wykazał, że jeśli potraktujemy tensor metryczny $g_{\alpha\beta}$ czasoprzestrzeni, jako zaburzoną małym członem $h_{\alpha\beta} \ll 1$ metrykę Minkowskiego: $g_{\alpha\beta} = \eta_{\alpha\beta} + h_{\alpha\beta}$ (założenie takie nazywamy przybliżeniem słabego pola) oraz gdy założymy ponadto, że prędkości ciał w rozważanym układzie są znikome w porównaniu z prędkością światła $v/c \ll 1$, to równania Einsteina odtworzą teorię Newtona⁴, jako przypadek graniczny. Wystąpienie obu wymienionych wyżej założeń określane jest mianem granicy newtonowskiej ogólnej teorii względności. Warto nadmienić iż – poza przybliżeniem słabego pola – drugi warunek granicy newtonowskiej opisywany jest parametrem $\varepsilon \propto v/c \propto GM/rc^2 \propto p/\rho c^2$, a mówiąc precyzyjnie, żądaniem aby był on mały $\varepsilon \ll 1$. Czyli jest to wielkość tego samego rzędu, co stosunek prędkości do prędkości światła, co potencjał grawitacyjny podzielony przez c^2 i tego samego rzędu co iloraz ciśnienia do gęstości energii. Dla Ziemi jest on rzędu 10^{-9} , na powierzchni Słońca rzędu 10^{-6} , dla gwiazd bardziej zwartych, jak białe karły, wynosi 10^{-4} , czyli wciąż jest mały. Dla gwiazd neutronowych parametr $\varepsilon \approx 0.1$, czyli dopiero tutaj (odnosząc się do znanych nam obiektów fizycznych) dochodzimy do granic stosowalności przybliżenia newtonowskiego.

Kolejnym efektem, przewidzianym przez Einsteina w przybliżeniu słabego pola⁵ były fale grawitacyjne. Otóż, zachowując jedynie wyrazy liniowe wzglę-

³ Autorami tego sloganu są: Edwin Taylor i John Archibald Wheeler.

⁴ Mówiąc ściśle odtworzone zostaje równanie Poissona dla Newtonowskiego potencjału grawitacyjnego.

⁵ Einstein A. “Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation.” Berlin: Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, 1916. part 1: 688–696. Einstein A. “Über Gravitationswellen. Berlin: Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, 1918. part 1: 154–167

dem małego zaburzenia $h_{\alpha\beta} \ll 1$ metryki Minkowskiego oraz dokonując odpowiedniego wyboru cechowania⁶, można równania Einsteina sprowadzić do postaci:

$$\square h_{\alpha\beta} = -\frac{16\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta}$$

czyli do postaci niejednorodnego równania falowego, które w próżni, daleko od źródeł sprowadzają się do – znanego z elektrodynamiki klasycznej – równania falowego dla małego zaburzenia metryki $\square h_{\alpha\beta} = 0$. Tak więc fale grawitacyjne, to małe zaburzenia („zmarszczki”) czasoprzestrzeni, propagujące się z prędkością światła. Można też uczynić następującą analogię. Przepiszmy równania Einsteina w postaci:

$$T_{\alpha\beta} = \frac{c^4}{8\pi G} G_{\alpha\beta}$$

wówczas na tensor energii-pędu $T_{\alpha\beta}$ można spojrzeć jako na tensor naprężeń ośrodka sprężystego, a na tensor krzywizny Einsteina $G_{\alpha\beta}$ jako na tensor odkształceń ośrodka. Uzyskujemy więc formalną analogię z prawem Hooke’a dla ośrodków sprężystych, gdzie rolę modułu sprężystości (modułu Younga) odgrywa odwrotność stałej sprężenia. W takim obrazie sama czasoprzestrzeń – arena zdarzeń fizyki – mało tego, że jest modelowana przez materię, ale zachowuje się jak ośrodek sprężysty. Jednak ośrodek ten ma niesamowicie duży moduł sprężystości, rzędu 10^{43} N. Innymi słowy, potrzeba czegoś dramatycznego (potężnego i gwałtownego), aby odkształcić czasoprzestrzeń. Ponadto, olbrzymi moduł sprężystości implikuje, że fale o bardzo małych amplitudach mają bardzo dużą gęstość energii. Tak więc, fala grawitacyjna oddziałuje z materią co prawda bardzo słabo, lecz dzięki temu w ogóle możliwa jest jej laboratoryjna detekcja – po pokonaniu olbrzymich wyzwań technologicznych. Z drugiej strony, bardzo trudno jest taką falę osłabić. Dzięki temu, fale grawitacyjne docierają od źródeł praktycznie nie zakłócone.

Małe zaburzenie $h_{\alpha\beta}$, reprezentowane jako symetryczna macierz 4×4 , posiada 10 składowych, lecz można pokazać, wykorzystując swobodę cechowania, że posiada ono jedynie dwa niezależne, fizycznie istotne stopnie swobody – polaryzacje fali grawitacyjnej – oznaczane jako h_+ i h_\times (nazywane „plus” i „krzyż”). W owym tzw. poprzecznym – bezśladowym cechowaniu, płaską falę grawitacyjną propagującą się wzdłuż osi „z” opisuje tensor:

⁶ OTW podobnie jak elektrodynamika (i inne teorie fizyczne) posiada swobodę tzw. cechowania, czyli matematycznych przekształceń nie zmieniających mierzalnych fizycznie wielkości. Cechowanie zazwyczaj wybiera się tak, aby uprościć matematycznie rozważany problem. Najprostszym przykładem symetrii cechowania jest możliwość zdefiniowania potencjału (elektrycznego, czy grawitacyjnego w teorii Newtona) z dokładnością do stałej. W elektrodynamice, aby z równań Maxwella wyprowadzić równanie falowe (czyli wykazać istnienie fal elektromagnetycznych), też należy przyjąć tzw. cechowanie Lorentza.

$$h_{\alpha,\beta} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_+ & h_\times & 0 \\ 0 & h_\times & -h_+ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} e^{i(\omega t - kz)}$$

Zapis powyższy wyraża ogólne własności fal grawitacyjnych: są to fale poprzeczne i dotyczą jedynie sektora przestrzennego czasoprzestrzeni – nie dotyczą składowej czasowej. Symbolika h_+ i h_\times nawiązuje do wpływu, jaki fala taka wywiera na próbny układ ciał. Polega on na deformacjach pływowych – rozciąganiu i ściskaniu we wzajemnie prostopadłych kierunkach. Polaryzacja h_+ czyni to wzdłuż osi „x” i „y”, natomiast h_\times wzdłuż osi obróconych o 45° . Rozumując w analogii do elektromagnetyzmu, można się zastanowić nad dwoma pytaniami: czy bylibyśmy w stanie wygenerować laboratoryjnie fale grawitacyjne oraz czy bylibyśmy w stanie dokonać ich detekcji w laboratorium. Odpowiedź na pierwsze pytanie jest negatywna. Aby się o tym przekonać uczynimy proste oszacowanie. Z teorii wynika, że pierwszym niezerowym momentem rozkładu masy $\rho(x,t)$ w rozwinięciu multipolowym, którego zmienność w czasie może wygenerować fale grawitacyjne, jest wyraz kwadrupolowy $Q_{ij} = \int \rho(x,t)(x_i x_j - \delta_{ij} x^2/3)d^3x$. W przybliżeniu kwadrupolowym, moc wypromieniowywana w postaci fal grawitacyjnych wyraża się wzorem:

$$L_G = \frac{G}{5c^5} \left\langle \frac{d^3 Q_{ij}}{dt^3} \frac{d^3 Q^{ij}}{dt^3} \right\rangle$$

przy czym nawias kątowy oznacza uśrednienie po małym obszarze przestrzennym (np. po kilku długościach fali). Laboratoryjnym przykładem zmiennego w czasie kwadrupola mogłaby być belka o długości L , masie M , rotująca z częstością kątową ω wokół środka swej długości. Innymi słowy, byłaby to prosta karuzela o jednym ramieniu. Zastosowanie wzoru kwadrupolowego do takiego przypadku daje oszacowanie: $L_G \propto GM^2 L^4 \omega^6 / c^5$. Gdyby teraz podstawić tu jakieś duże, lecz wyobrażalne technologicznie wartości, np. $L = 100$ m, $M = 1000$ t, $\omega = 20$ rad/s otrzymamy zanedbywalnie małą wartość wypromieniowywanej mocy $L_G = 10^{-26}$ W. Powodem takiego wyniku jest obecność czynnika Gc^{-5} , którego odwrotność jest olbrzymia: $c^5/G = 3.6 \times 10^{52}$ W. Jest to wielkość równoważna dwudziestu tysiącom mas spoczynkowych Słońca przetworzonych na energię w ciągu jednej sekundy. I ta olbrzymia wielkość występuje w mianowniku we wzorze na moc promieniowania fal grawitacyjnych. Należy podkreślić, że inne realizacje zmiennego w czasie kwadrupola, takie jak: rotujące hantle, układ podwójny gwiazd, rotująca elipsoida czy też odchylenia od sferycznej symetrii rotującego obiektu (np. „wzgórki” na powierzchni szybko rotującej gwiazdy neutronowej) dają tego samego typu zależność od rozmiarów układu, jego masy i prędkości rotacji.

W środowisku uczonych zajmujących się falami grawitacyjnymi znana jest historia związana z cyklem seminariów, jakie prowadził w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku Joe Weber⁷. Mianowicie, na jednym ze swoich seminariów, na którym dyskutował wzór kwadrupolowy i jego zastosowanie do rotującej belki, począł Weber narzekać: „jakby to było dobrze, gdyby ten czynnik c do piątej przez G był w liczniku, a nie w mianowniku”. Następnie powiada: „spróbujmy wyrazić masę M przez promień Schwarzschilda $r_S = 2GMc^{-2}$ belki, następnie wyrażmy częstość kątową przez prędkość liniową na obrzeżach belki $\omega = vcc^{-1}r^{-1}$, promień $r = L/2$ będzie liczony od osi rotacji i podstawmy sobie do wyrażenia na moc promieniowania”

$$L_G \propto \left(\frac{r_S c^2}{2G}\right)^2 (2r)^4 \left(\frac{v}{c}\right)^6 \left(\frac{c}{r}\right)^6 \frac{G}{c^5} = 4 \left(\frac{r_S}{r}\right)^2 \left(\frac{v}{c}\right)^6 \frac{c^5}{G}$$

„po podstawieniu i uproszczeniu, w magiczny sposób kłopotliwe wyrażenie c do piątej przez G pojawia się nam w liczniku.” Mimo iż obliczenia wykonane zostały na szkolnym przykładzie rotującej belki, intuicja jaką one budzą jest słuszna w ogólnych rozważaniach. Zatem morał z tego rachunku jest następujący: mechanizmy generacji fal grawitacyjnych będą efektywne w układach o rozmiarach porównywalnych z promieniem Schwarzschilda, w których typowe prędkości są porównywalne z prędkością światła. W takich układach, kalibrującym czynnikiem mocy promieniowania, jest ta przepotężna moc dwustu tysięcy mas Słońca anihilowanych w ciągu jednej sekundy. Inna postać powyższej zależności:

$$L_G \propto \frac{c^5}{G} \left(\frac{GM}{rc^2}\right)$$

pokazuje silną zależność mocy promieniowania grawitacyjnego od zwartości układu. Częstość fal grawitacyjnych emitowanych przez układ podwójny jest dwukrotnie większa od częstości ruchu orbitalnego: $f_{GW} = 2f_{orb}$. Uczyńmy w tym miejscu kolejną ocenę, która okazuje się co do rzędu wielkości ogólnie słuszna. Utrata energii z układu w postaci fal grawitacyjnych prowadzi do cyrkularyzacji orbity, zaś utrata momentu pędu do jej zacieśniania. Załóżmy zatem, że mamy układ podwójny o sumie mas składników M , promieniu orbity kołowej⁸ R . Z trzeciego prawa Keplera:

$$f_{orb} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

⁷ Joseph Weber z MIT oraz Braginski z Moskwy zapoczątkowali w latach siedemdziesiątych XX wieku technikę detektorów rezonansowych. Kulminacją tego podejścia do detekcji fal grawitacyjnych było powstanie pod koniec XX wieku sieci detektorów AURIGA, NAUTILUS, TIGA we Włoszech i Australii. Obecnie odstąpiono od techniki detektorów rezonansowych jako zbyt wąskopasmowych i o zbyt małej czułości.

⁸ W żargonie astrofizyków fal grawitacyjnych orbity kołowe nazywa się „keplerowskimi”.

a ponieważ wzajemną separację składników układu ogranicza od dołu promień Schwarzschilda: $R \geq R_s = 2GMc^{-2}$, dostajemy stąd górne ograniczenie na częstotliwość fal grawitacyjnych z układu podwójnego:

$$f_{GW}(M) < c^3/(4\pi GM \times 2^{0.5}) \approx 10^4 \text{ Hz } (M_\odot/M)$$

gdzie M_\odot oznacza masę Słońca.

Astrofizyczne źródła fal grawitacyjnych

Z powyższej dyskusji natury ogólnej, staje się jasnym, iż od dawna archetypem układu promieniującego fale grawitacyjne były układy podwójne – szczególnie układy zwarte. W roku 1967 Bohdan Paczyński⁹ jako pierwszy zwrócił uwagę, iż emisja fal grawitacyjnych z ciasnych układów podwójnych gwiazd typu tzw. nowych karłowatych, może w sposób znaczący wpływać na ewolucję tych układów i że może to być efekt testowalny. Nieco później Natura dostarczyła nam pewnej klasy obiektów, których ostatnie stadia ewolucji związane są z silną emisją fal grawitacyjnych. Mam tu na myśli układy podwójne gwiazd neutronowych, a pierwszym odkrytym obiektem tego typu był podwójny pulsar PSR1913+16. Za jego odkrycie¹⁰ Hulse i Taylor otrzymali w roku 1993 nagrodę Nobla z dziedziny fizyki. Pulsar ten był monitorowany przez kolejne dekady po jego odkryciu. Technika chronometrażu pulsara pokazała, że jego orbita zmienia się zgodnie z przewidywaniami OTW. Mianowicie, układ wypromieniowuje (traci) energię i moment pędu w formie fal grawitacyjnych, na skutek czego orbita się zacieśnia. Stąd wiemy, że te dwie gwiazdy neutronowe spadną kiedyś (za około 300 mln lat) na siebie – proces taki nazywamy koalescencją. Obecnie potrafimy bardzo dokładnie wyliczyć profil fali grawitacyjnej w etapach ewolucji poprzedzających koalescencję – amplituda i częstotliwość emitowanych fal rosną w charakterystyczny sposób, stąd ten rodzaj sygnału przez analogię akustyczną nazywamy „ćwierkiem” (ang. *chirp*). Układy podwójne spiralujące przed koalescencją są też ważne z innego powodu. Mianowicie, jak pokazali Bernard Schutz i Andrzej Królak, z czasowej ewolucji amplitudy sygnału i tempa dryfu częstości możemy bezpośrednio zmierzyć odległość do takiego układu oraz jego masę (ściślej mówiąc tzw. masę ćwierku ang. *chirp mass*, będącą pewną kombinacją mas układu). W astronomii każda niezależna i bezpośrednia metoda pomiaru odległości ma kapitalne znaczenie. Stąd też przez ostatnie kilka dekad sporo uwagi poświęcili teoretycy zwartym układom podwójnym – szczególnie dwóch gwiazd neutronowych. Odkrycie układu podwójnego PSR1913+16 (i kolejnych podwójnych pulsarów) było w pewnym sensie zaskoczeniem, gdyż udowodniało, że takie układy przeżywają z sukcesem dwa wybuchy supernowych w układzie podwójnym. Od tego czasu bardzo rozwinęły się ewolucyjne

⁹ B. Paczyński, “Gravitational waves and the evolution of close binaries” Acta Astron. 1967, 17:287

¹⁰ Hulse R A, Taylor J H. “Discovery of a pulsar in a binary system.” Astrophys. J, 1975, 195: L51–L53

kody numeryczne, tzw. syntezy populacyjnej, umożliwiające przewidywanie częstości występowania koalescencji podwójnych gwiazd neutronowych, podwójnych czarnych dziur i układów mieszanych w obserwowalnym Wszechświecie.

Źródła fal grawitacyjnych, jakie spodziewamy się rejestrować w detektorach możemy podzielić na:

- spiralujące (ang. *inspiraling*) zwarte układy podwójne, dające sygnał typu „ćwierku” – w tym też układy podwójne supermasywnych czarnych dziur obecnych w jądrach galaktyk,
- źródła okresowe: ciasne układy podwójne przed okresem spiralowania, szybko rotujące gwiazdy neutronowe z nierównościami na powierzchniach; spodziewany sygnał jest ściśle okresowy,
- źródła wybuchowe: emisja fal grawitacyjnych towarzysząca katastroficznym zdarzeniom typu wybuchów supernowych, powstawaniu tzw. kolapsarów, fale grawitacyjne emitowane przez hipotetyczne struny kosmiczne, mogące być pozostałościami przejść fazowych we wczesnym wszechświecie,
- tło stochastyczne: pochodzące od nierozróżnialnych indywidualnie źródeł wyżej wymienionych rodzajów, lub też tło kosmologiczne z bardzo wczesnego wszechświata.

Obserwacja fal grawitacyjnych polega na wyławianiu sygnału z szumu detektora. Aby taka ekstrakcja miała szansę powodzenia, musimy znać dokładnie szablony takiego sygnału przewidywane przez teorię. Wówczas jest możliwe zbudowanie optymalnego filtra Wienera, przez który „przepuści” się sygnał z detektora. Tak się szczęśliwie składa, że dla układów podwójnych, w fazach ewolucji poprzedzających koalescencję, te szablony są dość precyzyjnie odtwarzane numerycznie. W jaki sposób takie rachunki przeprowadzamy? Relatywistyczny problem dwóch ciał, w swej najogólniejszej postaci, do dzisiaj nie ma rozwiązania analitycznego. Natomiast w pewnych przypadkach granicznych, określonych przez wzajemne odległości ciał w układzie podwójnym oraz przez stosunek mas składników, mamy możliwości rachunków przybliżonych. Gdy separacja wzajemna składników jest znacznie większa od ich promieni Schwarzschilda, stosuje się tzw. formalizm post-newtonowski, polegający na rozwinięciach względem parametru ϵ słabych pól. Gdy jedno z ciał w układzie dominuje masą nad drugim, można stosować rachunki perturbacyjne. Jest pewien obszar, gdzie te dwie techniki się spotykają (rachunki perturbacyjne + rozwinięcie post-newtonowskie), gdy natomiast składniki układu podwójnego mają porównywalne masy, a ich separacja staje się bliska promieniom Schwarzschilda, musimy się posiłkować metodami czysto numerycznymi, które w ramach OTW są niesamowicie skomplikowane i nietrywialne. Tym niemniej istnieją zespoły, które zaczynają na tym polu uzyskiwać dość wiarygodne wyniki.

Detektory

Współczesnymi narzędziami, przy pomocy których zarejestrowaliśmy już pierwsze sygnały grawitacyjne, są detektory interferometryczne. W urządzeniach takich mamy dwa prostopadłe ramiona, na końcach których zawieszono są lustra (masy testowe) pomiędzy którymi odbija się światło lasera i po wielokrotnych odbiciach (tzw. recykling) owe wzajemnie prostopadłe wiązki interferują ze sobą. Wyjściowo detektor ustawiony jest w trybie interferencji destruktywnej, czyli fotodioda nie powinna rejestrować światła. Przejście fali grawitacyjnej zmienia długości ramion a zatem i fazę interferujących wiązek na skutek czego można uzyskać sygnał w detektorze. Pasmo czułości naziemnych detektorów interferometrycznych obejmuje zakres częstotliwości 10 Hz – 10 kHz. Od strony wysokich częstości czynnikiem ograniczającym czułość jest kwantowa natura światła laserowego tzw. *quantum shot noise*. Od strony niskich częstości czułość jest ograniczona przez czynniki tzw. sejsmiczne. Terminem tym określamy drgania gruntu wywołane aktywnością ludzką, zjawiskami atmosferycznymi oraz ruchami mas oceanicznych. Czynniki sejsmiczne są niemożliwe do odizolowania poniżej częstotliwości 1 Hz. Wystarczającą czułość na tych najniższych częstościach ($1 \text{ Hz} < f < 10 \text{ Hz}$) można uzyskać budując detektor pod ziemią.

W tym miejscu wypada przypomnieć podane wyżej ograniczenie na częstotliwość końcowej fazy ewolucji układu podwójnego tuż przez koalescencją $f_{GW}(M) < 10^4 \text{ Hz} (M_{\odot}/M)$. Widzimy że, w obszarze czułości detektorów interferometrycznych, najbardziej obiecującą klasą źródeł są właśnie zderzające się układy podwójne gwiazd neutronowych, czarnych dziur, bądź mieszane (gwiazda neutronowa – czarna dziura) o masach od $1 M_{\odot}$ do maksymalnie $1000 M_{\odot}$. Są to tzw. układy o masach gwiazdowych. Te najcięższe mogłyby odpowiadać tzw. średnio masywnym czarnym dziurom, które zgodnie z pewnymi hipotezami mogą występować w centrach gromad kulistych. Aby zarejestrować fale grawitacyjne emitowane przez podwójne układy supermasywnych czarnych dziur (o masach od 10^6 do $10^9 M_{\odot}$) musimy mieć odpowiednią czułość na częstotliwościach $10 \text{ nHz} < f < 10 \text{ }\mu\text{Hz}$, co jest możliwe jedynie w eksperymentach satelitarnych. Posiadamy sporo dowodów na istnienie supermasywnych czarnych dziur w centrach galaktyk (włączając Drogę Mleczną), natomiast scenariusz hierarchicznej formacji struktury wielkoskalowej zakłada iż proto-galaktyki zderzają się ze sobą tworząc większe końcowe obiekty. Podobnie galaktyki eliptyczne są – w tym paradygmacie – pozostałościami po zderzeniach galaktyk spiralnych. Zatem odkrycie i dalsze badania podwójnych supermasywnych czarnych dziur dostarczyłyby nieocenionych informacji dla teorii powstawania i ewolucji galaktyk.

Obecnie najbardziej zaawansowane technicznie eksperymenty prowadzące już detekcję fal grawitacyjnych to LIGO i Virgo. Eksperyment LIGO umiejscowiony jest w Stanach Zjednoczonych w dwóch miejscach: w Hamford (Stan Washington) oraz Livingstone (Stan Louisiana). Virgo zaś to detektor

europijski, umiejscowiony we Włoszech w pobliżu Pizy. Czterokilometrowe ramiona interferometrów LIGO (trzykilometrowe w przypadku Virgo) zostały w ostatnich latach gruntownie przebudowane i ulepszone. Podczas gdy w pierwszej fazie działania LIGO w zasięgu detektora znajdowało się około kilkuset galaktyk, obecnie już znalazło się ich około stu tysięcy.

Gdy pod koniec roku 2015 detektor LIGO zbliżał się do rozruchu, w środowisku badaczy fal grawitacyjnych panowało podniecenie: jak się oceniało, ten nowej generacji detektor LIGO powinien rejestrować od jednego do kilkudziesięciu koalescencji rocznie. Mówiono tak: „jeśli po uruchomieniu LIGO nie zarejestruje fal grawitacyjnych, będziemy się musieli poważnie zastanawiać czy nie należy zmienić teorii ...” I jak wiemy już dzisiaj – wszystko potoczyło się zgodnie z przewidywaniami. Pierwsza detekcja GW160915 (nazwa pochodzi od GW-*gravitational waves* – fale grawitacyjne, dalej kolejne liczby to rok, miesiąc i dzień czyli 15.09.2016) nastąpiła tuż po włączeniu detektora – jeszcze przed jego oficjalnym uruchomieniem, ale sygnał był niebywale wyraźny – stosunek sygnału do szumu $S/N = 24$ (przy zakładanym teoretycznie progu detekcji $S/N = 8$). Później zarejestrowano zjawisko LVT1501012 – nie zostało one oficjalnie uznane za detekcję, aby nie narazić eksperymentu na utratę dobrego imienia gdyby okazało się, że jednak był artefaktem. Zjawisko LTV (LIGO/Virgo Transient) miało $S/N = 10$, więc nieoficjalnie też uważamy je za realny sygnał. Ostatni sygnał, przed techniczną przerwą na dalszą modernizację, nastąpił w Święta Bożego Narodzenia 2016 roku - GW151226. Po ponownym uruchomieniu LIGO zarejestrowano GW170104, GW170608, w sierpniu 2017 dołącza nieco spóźniony z modernizacją detektor Virgo i rejestrujemy: GW170814, GW170817.

We wszystkich przypadkach, za wyjątkiem GW170817, sygnały pochodziły od koalescencji układów podwójnych czarnych dziur, z których niektóre miały nieoczekiwanie duże masy, np. w GW150914 zderzyły się czarne dziury o masach 36 i 29 M_{\odot} . Przewaga układów podwójnych czarnych dziur potwierdziła teoretyczne przewidywania wysnuwane na gruncie modeli syntezy populacyjnej. Natomiast sygnał GW170817 pochodził od koalescencji dwóch gwiazd neutronowych, o masach rzędu 0.9 – 2 M_{\odot} (astrofizyka koalescencji gwiazd neutronowych – oddziaływania pływowe – jest bardziej skomplikowana niż w przypadku czarnych dziur, stąd większa niepewność w ocenie mas składników). Alert zespołu LIGO/Virgo, przesłany do stowarzyszonych obserwatoriów prowadzących badania w różnych zakresach widma elektromagnetycznego, w połączeniu z w miarę precyzyjną lokalizacją zdarzenia na sferze niebieskiej, przyniosły identyfikację elektromagnetyczną obiektu. Najpierw w 1.7 sekundy po koalescencji satelita Fermi zaobserwował we wskazanej lokalizacji tzw. krótki błysk gamma. Potwierdziło się od dawna istniejące przewidywanie, że krótkie błyski gamma stowarzyszone są z koalescencją gwiazd neutronowych. Następnie, zjawisko uwidoczniło się w promieniach X oraz w świetle widzialnym: koalescencja miała miejsce w galaktyce NGC 4993. Prowadzone dalej skoordynowane obserwacje potwierdziły jakościowo

model tzw. kilonowej. Model ten został zaproponowany przez Li-xin Li i Bohdana Paczyńskiego w roku 1998¹¹. Koalescencja GW170817 monitorowana nie tylko w falach grawitacyjnych, lecz także na falach elektromagnetycznych zapoczątkowała nowy rozdział tzw. astrofizyki wielu nośników informacji (ang. *multimessenger astronomy*). Dotąd wiodącym nośnikiem informacji o Wszechświecie były fale elektromagnetyczne, w nieco mniejszym stopniu promieniowanie kosmiczne oraz neutrino. Obecnie zakres ten poszerzył się o sygnały grawitacyjne.

Przyszłość

Po pierwszych udanych detekcjach fal grawitacyjnych, gdy otwarło się szeroko nowe okno na Wszechświat, w planach sięgamy dalej. W Japonii, w sąsiedztwie słynnego detektora neutron Kamiokande, we wnętrzu masywu góry Ikeno, dobiega końca budowa detektora KAGRA (nazwa od ang. *KAmioka GRAvitational wave detektor*). Poprzednia wersja (sprzed modernizacji) detektora LIGO z obserwatorium w Hanford przekazana została do Indii, gdzie stanie się podstawą detektora IndIGO (Indian Initiative in Gravitational-wave Observations). Posiadanie sieci detektorów w różnych (najlepiej bardzo odległych) lokalizacjach ma kapitalne znaczenie dla precyzji lokalizacji źródeł na sferze niebieskiej. Jakkolwiek detektor fal grawitacyjnych zarejestrować może sygnał z całej sfery niebieskiej (ogarnia pełen kąt bryłowy 4π sr) to jednak czułość jego zależy od kierunku do źródła. Łatwo to zrozumieć wspominając poprzeczną naturę fal grawitacyjnych – fala grawitacyjna rozchodząca się w płaszczyźnie detektora nie wywoła jego odpowiedzi, a maksymalna odpowiedź będzie dla fali nadchodzącej prostopadle do płaszczyzny detektora. Tak więc dokładność lokalizacji źródła w pojedynczym detektorze jest w najlepszym przypadku rzędu dziesięciu stopni kwadratowych. Natomiast sieć detektorów znacznie poprawia możliwości lokalizacji. W szczególności za udaną identyfikację optycznego odpowiednika GW170817 odpowiada szczęśliwy zbieg okoliczności, że w przeciwieństwie do dwóch detektorów LIGO, działający wówczas detektor Virgo nie zarejestrował sygnału – kierunek do źródła leżał w jego chwilowej płaszczyźnie – co umożliwiło w miarę precyzyjną lokalizację źródła.

Odżyły plany misji satelitarnej LIGO – obserwatorium grawitacyjnego opartego na konfiguracji trzech satelitów, w układzie trójkąta równobocznego o długości boku 5 mln km, podążających za Ziemią po wspólnej orbicie, w odległości kątowej 20° za naszą planetą. LIGO uzyska czułość na niskich częstotliwościach i wniesie nieoceniony wkład w badania struktury i ewolucji galaktyk. Wystrzelona w 2015 roku przez Europejską Agencję Kosmiczną sonda LISA Pathfinder pomyślnie przetestowała rozwiązania techniczne leżące u podstaw planowanej misji LISA.

¹¹ Li LX, Paczyński B “Transient events from neutron star mergers.” *Astrophys. J. Lett.* (1998) 507:L59–L62

Już kilka lat temu Komisja Europejska zaakceptowała, jako jedną z priorytetowych inwestycji infrastruktury naukowej, budowę Europejskiego Teleskopu Grawitacyjnego – tzw. Teleskopu Einsteina. W pracach koncepcyjnych wokół tego przedsięwzięcia bierze też udział Polskie Konsorcjum Teleskopu Einsteina. Droga do realizacji tego celu jest jeszcze daleka, ale nadzieje z nim związane są duże. Między innymi spodziewamy się, że Teleskop Einsteina będzie rejestrować rocznie od tysiąca do stu tysięcy zdarzeń typu koalescencji układów podwójnych.

Ponadto, w różnorodnego typu eksperymentach, począwszy od zapisu pierwotnych fal grawitacyjnych we wzorcach polaryzacji promieniowania mikrofalowego tła, zwanych B-modami¹², poprzez tak zwany chronometraż pulsarów, aż do istniejących i przyszłych naziemnych detektorów interferometrycznych, czy planowanych w przyszłości – satelitarnych, staramy się uzyskać możliwość badania pełnego spektrum potencjalnych źródeł promieniowania grawitacyjnego, pokrywającego zakres częstości fal grawitacyjnych od 10^{-16} Hz do 10^4 Hz.

¹² W czerwcu 2014 roku zespół eksperymentu BICEP2, mierzącego polaryzację promieniowania mikrofalowego tła w obserwatorium zlokalizowanym na Antarktydzie, ogłosił odkrycie B-modów w skalach kątowych w jakich spodziewamy się znaleźć sygnał od pierwotnych fal grawitacyjnych wygenerowanych w epoce inflacji. Późniejsza dokładniejsza analiza wykazała iż zarejestrowany sygnał ma pochodzenie nie-kosmologiczne. Rejestracja fal grawitacyjnych z początków wszechświata jest nadal otwartym problemem i wielkim wyzwaniem dla badaczy promieniowania mikrofalowego tła.



Małgorzata Bankowicz

Badanie własności galaktyk jasnych w podczerwieni

Małgorzata Bankowicz, Agnieszka Pollo

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego

Wstęp

Galaktyki jasne i ultra jasne w podczerwieni (LIRG i ULIRG, ang. *Luminous Infrared Galaxies* oraz *Ultra Luminous Infrared Galaxies*) występują rzadko i nie są jeszcze do końca zbadane. Wyróżnia je maksimum jasności przypadające w podczerwonej części widma i jasność bolometryczna w podczerwieni o wiele wyższa od optycznej ($10^{11} L_{\odot} \leq L_{\text{IR}} < 10^{12} L_{\odot}$ w przypadku LIRG-ów oraz $10^{12} L_{\odot} \leq L_{\text{IR}} < 10^{13} L_{\odot}$ w przypadku ULIRG-ów).

Galaktyki typu LIRG i ULIRG odkryto w późnych latach osiemdziesiątych (Houck i in. 1985[1]; Soifer i in. 1986[2]) w danych podczerwonego przeglądu IRAS (ang. *Infrared Astronomical Satellite*). Okazało się, że ich wysoka jasność podczerwona związana jest z silną formacją gwiazdową. Stwierdzono też, że w ich centrach często występuje aktywne jądro (AGN, ang. *Active Galactic Nucleus*, Sanders i in. 1988[3]). Dalsze badania nad tą klasą obiektów wykazały, że część z nich jest w trakcie lub niedługo po zakończeniu zderzenia lub innego rodzaju interakcji z inną galaktyką (Clements i in. 1996[4]; Murphy i in. 1996[5]; Veilleux i in. 2002[6]; Lonsdale i in. 2006a[7]).

Od czasów pierwszych badań ULIRG-ów z przeglądu IRAS, badań nad tego typu obiektami było dużo i prowadzono je w różnych zakresach widmowych. Obserwowano je w ultrafiolecie przy pomocy satelity GALEX (Xu i in. 2007[8]), prowadzono dalsze badania w podczerwieni na podstawie danych zebranych przez satelity Spitzer i Herschel (Armus i in. 2009[9]; Casey i in. 2012[10]; Rosenberg i in. 2015[11]), a także w zakresie mikrofalowym i radiowym (między innymi Farrah i in. 2008[12]). W szczególności Farrah i in. 2008[12] zidentyfikowali linie widmowe wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych (PAH, ang. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), które uważa się za wskaźniki bardzo silnej formacji gwiazdowej. Nie wykluczono też jednocześnie silnego wkładu od AGN-u. Obiekty typu ULIRG badano nawet w zakresie promieni X. Z danych satelity Chandra (Iwasawa i in. 2011[13]) spośród 44 najjaśniejszych galaktyk z próbki GOALS (ang. *Great Observations All-sky Survey*), w 43 wykryto emisję rentgenowską, 37% z nich posiada wyraźny AGN, którego wkład w całkowitą jasność obiektu to 10%; okazało się, że 75% to ULIRG-i. Jedną z najczęściej badanych próbek, stworzoną na podstawie danych zebranych przy pomocy satelity IRAS, jest właśnie próbka GOALS, wyselekcjonowana z próbki RBGS (ang. *Revised Bright Galaxy Sample*). Próbka GOALS liczy blisko 200 obiektów tej klasy o przesunięciach ku czerwieni $0.5 < z < 1$, wśród nich 181 LIRG-ów oraz 21 ULIRG-ów (Howell i in. 2010[14]).

Porównując dane z zakresu UV i IR Howell i in. 2010[14] stwierdzili, że na podstawie samej emisji w UV nie da się zidentyfikować ULIRG-ów. Na pod-

stawie analizy obiektów w badanej przez nich próbce zaproponowali scenariusz, zgodnie z którym w toku ewolucji poprzez połączenie się LIRGa z inną galaktyką może dojść do powstania ULIRG-a. Stwierdzili m.in., że powszechniejsze są układy podwójne, składające się z LIRG-a oraz galaktyki bardzo jasnej w UV, niż pojedyncze LIRG-i dominujące w obu pasmach. Natomiast porównanie zakresów: UV, IR i promieniowania X, przeprowadzone przez U i in. 2012[15], pozwoliło na wyliczenie między innymi masy i temperatury pyłu oraz wykazanie, że 25% LIRGów oraz 60% ULIRG-ów w badanej przez nich próbce posiada AGN.

Dotychczasowe badania nad tą klasą obiektów wykazały, że ULIRG-i są rzadkie w lokalnym Wszechświecie (Kim i Sanders 1998[16]), natomiast bardzo powszechne na wyższych redshiftach (Takeuchi i in. 2005[17]; Symeonidis i in. 2011, 2013[18,19], Solarz i in. 2015[20]).

Jak pokazuje powyższa dyskusja, w galaktykach typu ULIRG mamy do czynienia z kombinacją różnych zjawisk fizycznych, ale nie ma jeszcze zadowalającego scenariusza, który by w pełni wyjaśniał ich właściwości. Ekstremalnie jasności podczerwone tych galaktyk przypisuje się silnej formacji gwiazdowej przysłoniętej przez pył (Noeske i in. 2007[21]; da Cunha i in. 2010, 2015[22,23]; Howell i in. 2010[14]; Podigachoski i in. 2015[24]). Wiemy, że w ich centrach często występuje aktywne jądro (AGN, z ang. Active Galactic Nucleus; ponad 25% - Veilleux i in. 1997[25], 30% - Clements i in. 1996[4]; U i in. 2012[15], 40% - Farrah i in. 2007[26]; Veilleux i in. 2009[27], 50% - Alonso-Herrero i in. 2012[28], a nawet 63% - Małek, Bankowicz i in. 2017[29] oraz 70% - Nardini i in. 2010[30]). Często są to obiekty w trakcie lub niedługo po zakończeniu interakcji z inną galaktyką (Veilleux i in. 2002[6]; Carpineti i in. 2015[31]). Główny mechanizm odpowiedzialny za inicjowanie procesów, odpowiedzialnych za ekstremalnie jasności tych galaktyk w podczerwieni pozostaje jednak nieznany – rozważana jest zarówno aktywność AGNu, jak i zderzenia galaktyk, a także kombinacja obu tych zjawisk (Veilleux i in. 2009[27]).

Badań nad ULIRG-ami i ich aktywnością w podczerwieni w odniesieniu do ich lokalnego otoczenia dotychczas było niewiele (m.in. Goto i in. 2005[32]; Zauderer i in. 2007[33]; Hwang i in. 2010[34]; Burton i in. 2013[35]; Ziparo i in. 2014[36]), a ich wyniki nie dają jednoznacznej odpowiedzi, czy najbliższe sąsiedztwo galaktyk typu ULIRG może mieć wpływ na aktywację jądra galaktyki i pobudzenie procesów gwiazdotwórczych. Podczas gdy Zauderer i in.[33] (na podstawie próbki 76 ULIRG-ów na $z < 0.3$) wykazał, że ULIRG-i występują w środowisku o podobnej gęstości, jak inne galaktyki (z wyjątkami kilku ULIRG-ów, znajdujących się w gromadach), Burton i in. 2013[35] w badanej przez nich próbce ULIRG-ów na $z \leq 0.5$ zmierzili, że prawdopodobieństwo znalezienia galaktyki typu ULIRG zależy od ich lokalnego otoczenia: obiekty wykrywane w dalekiej podczerwieni leżą w rzadszych ośrodkach niż galaktyki niewidoczne w dalekiej podczerwieni.

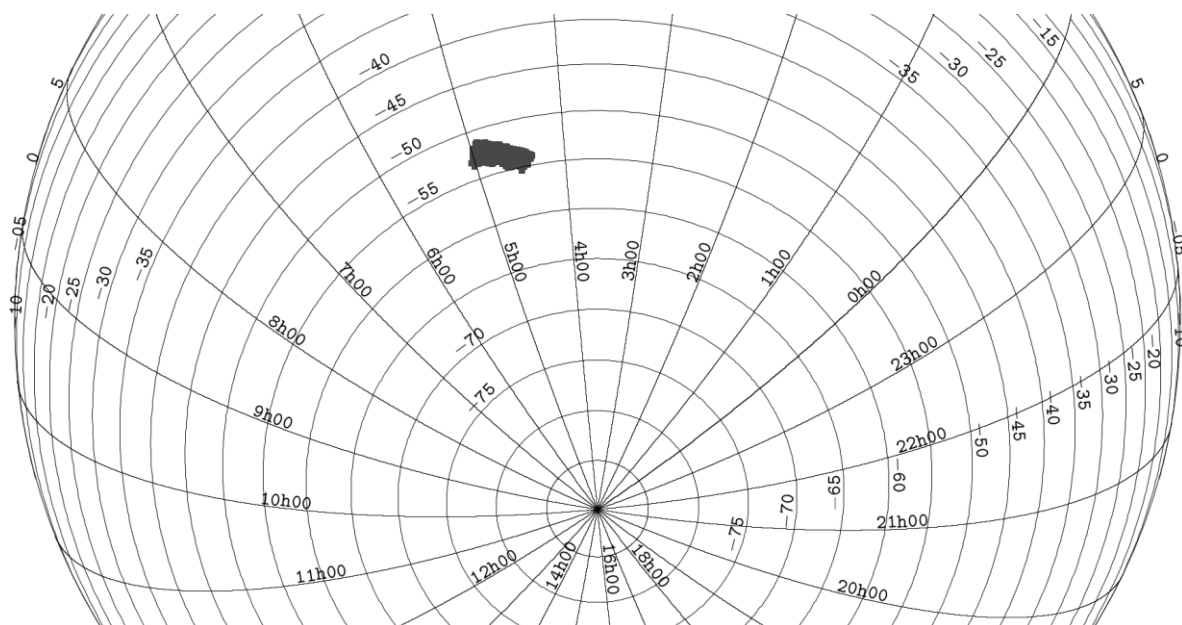
Symulacje numeryczne (np. Lin i in. 2010[37]) wskazują, że optymalne warunki do oddziaływań międzygalaktycznych zapewniają obszary o wysokiej, ale nie ekstremalnie wysokiej gęstości. Należy się zatem spodziewać, że będą to nie centra największych gromad, ale np. ich obszary zewnętrzne, albo mniej bogate zgrupowania galaktyk.

Dane

W naszym zespole postanowiliśmy zająć się tym problemem. Na potrzeby naszych badań użyliśmy próbki galaktyk zarejestrowanych w falach o długości 90 μm przez japońskiego podczerwonego satelitę AKARI w głębokim przeglądzie wokół południowego bieguna ekliptycznego (ang. *AKARI Deep Field-South*, ADF-S).

Przegląd ADF-S zawiera obserwacje na czterech długościach fali: 65 μm , 90 μm , 140 μm oraz 160 μm . Satelita AKARI w tym przeglądzie pokrył obszar ok. 12.3 stopni kwadratowych, z centrum obszaru o rektascensji $\alpha = 4^{\text{h}} 44^{\text{m}}$ i deklinacji $\delta = -53^{\circ} 20'$.

Pierwsza selekcja wyłoniła ok. 50 kandydatów na ULIRG-i (Małek i in. 2013, 2014[38,39]), spośród 545 źródeł przeglądu, dla których udało się znaleźć w publicznie dostępnych bazach danych astronomicznych optyczne odpowiedniki (Małek i in. 2010[40]). Dalsza analiza, oparta o wyniki modelowania rozkładów energii widmowej (ang. *Spectral Energy Distribution*, SED), z wykorzystaniem programu CIGALE (Noll i in. 2009[41], Serra i in. 2011[42]), została wykonana na grupie 69 galaktyk przeglądu, dla których udało się uzyskać najlepsze pokrycie widmowe w SEDach.



Położenie przeglądu ADF-S (zaczerniony obszar) na sferze niebieskiej.

Wyniki

Nasze badania potwierdziły obecność AGN-u w większości (63%) zidentyfikowanych ULIRG-ów. Wykazały też, że LIRG-i i ULIRG-i zawierają różne typy AGN-ów. W LIRG-ach występują zarówno AGN-y typu 1 jak i typu 2 (czyli - zgodnie ze standardowym modelem unifikacji aktywnych jąder galaktyk - zarówno takie, które widzimy "od góry", jak i takie, na które patrzymy z boku). Tymczasem ULIRG-i posiadają najczęściej AGN typu 2, czyli taki, który wydaje się być ustawiony do nas krawędzią torusa. Ta różnica może wskazywać, że to, czy identyfikujemy galaktykę jako LIRG-a, ULIRG-a czy normalną galaktykę aktywną gwiazdotwórczo może w jakimś stopniu zależy od geometrii i orientacji tych galaktyk, a nie tylko od ich własności fizycznych (Małek, Bankowicz i in. 2017[29]). Wynik ten można też interpretować odwrotnie - jako element szerszej debaty, jaka ma miejsce w ostatnim czasie, dotyczącej tego, czy podział AGN-ów na typ 1 i 2 ma podłoże wyłącznie geometryczne (jak opisuje standardowy model unifikacji), czy wpływają na niego też i procesy fizyczne.

Nasze szczegółowe badania galaktyk aktywnych gwiazdotwórczo, w tym 22 LIRG-ów i 17 ULIRG-ów, z pola ADF-S w zakresie przesunięcia ku czerwieni: $0.06 < z < 1.23$ wykazały też, że galaktyki jasne w podczerwieni są stosunkowo masywne. Średnia wartość masy gwiazdowej $\log(M_{\text{star}})$, wyliczona dla ULIRG-ów i LIRG-ów oraz dla galaktyk o mniejszej jasności pyłu $L_{\text{dust}} < 10^{11} L_{\odot}$, wynosi odpowiednio: $11.51 \pm 0.37 M_{\odot}$, $10.95 \pm 0.31 M_{\odot}$ oraz $10.03 \pm 0.5 M_{\odot}$. Powyższe wyniki zgadzają się z pomiarami własności ULIRG-ów na podobnych redshiftach, badanych przez Melbourne i in. 2008[43]; Giovannoli i in. 2011[44]; Pereira - Santaella i in. 2011[45]; U i in. 2012[15]; Rothberg i in. 2013[46]; da Cunha i in. 2015[23] oraz Santos i in. 2015[47]. Jednocześnie stwierdziliśmy, że podczas gdy dla „normalnych” galaktyk o dużej formacji gwiazdowej w przeglądzie ADF-S, wykorzystanych przez nas jako galaktyki porównania, zachowana jest typowa relacja tempa formacji gwiazdowej (ang. *star formation rate*, SFR) do masy gwiazdowej $\text{SFR}-M_{\text{star}}$, zaprezentowana przez Noeske i in. 2007[21] i znana jako "ciąg główny galaktyk (aktywnych gwiazdotwórczo)" (ang. *galaxy main sequence*), większość LIRG-ów i ULIRG-ów jest zlokalizowanych powyżej tej relacji (ich wartości SFR są przesunięte ku wyższym wartościom, czyli są one bardziej aktywne gwiazdotwórczo niż typowe galaktyki o podobnej masie).

Przeprowadziliśmy też wstępną analizę lokalnej gęstości wokół badanych galaktyk (ULIRG-ów, LIRG-ów oraz galaktyk aktywnych gwiazdotwórczo, o jasności pyłu $L_{\text{dust}} < 10^{11} L_{\odot}$), która wykazała, że wszystkie z badanych grup galaktyk występują w zróżnicowanym ośrodku (od mniej gęstych, przez ośrodowiska o średniej gęstości galaktyk, aż po ośrodki najgęstsze – odpowiadające centrom gromad). Wyniki sugerują jednak, że ULIRG-i najczęściej można znaleźć w ośrodkach o średnim zagęszczeniu, podczas gdy LIRG-i występują zarówno w ośrodkach o niskiej, jak i bardzo wysokiej gęstości. Potwier-

dzałoby to naszą wstępną hipotezę, że środowiskiem sprzyjającym występowaniu ULIRG-ów nie są centra gromad galaktyk, a raczej ich obszary peryferyjne. Może to z kolei oznaczać, że to rzeczywiście zderzenia z innymi galaktykami stanowią główny czynnik wyzwalający ich aktywność - zarówno gwiazdotwórczą, jak i związaną z aktywnością jądra - widoczną jako ekstremalna jasność w podczerwieni.

*** Badania zostały przeprowadzone przy wsparciu Narodowego Centrum Nauki; grant UMO-2016/23/N/ST9/01231

Bibliografia

1. Houck J. R., Schneider D. P., Danielson G. E. i in., 1985, ApJL 290, L5
2. Soifer B. T., Sanders D. B., Neugebauer G. i in., 1986, ApJL 303, L41
3. Sanders D. B., Soifer B. T., Elias J. H. i in. 1988, ApJ 325, 74
4. Clements D. L., Sutherland W. J., Saunders W. i in., 1996, MNRAS 279, 459
5. Murphy Jr. T. W., Armus L., Matthews K. i in., 1996, AJ 111, 1025
6. Veilleux S., Kim D.-C., Sanders D. B., 2002, ApJSS 143, 315
7. Lonsdale C. J., Farrah D., Smith H. E., 2006A, Ultraluminous Infrared Galaxies, ed. J. W. Mason, s. 285
8. Xu C. K., Shupe D., Buat V. i in., 2007, ApJSS 173, 432
9. Armus L., Mazzarella J. M., Evans A. S. i in., 2009, PASP 121, 559
10. Casey C. M., Berta S. i in., 2012, ApJ 761, 140
11. Rosenberg M. J. F., van der Werf P. P., Aalto S. i in., 2015, ApJ 801, 72
12. Farrah D., Lonsdale C. J., Weedman D. W., Spoon H. W. W., Rowan-Robinson M., Polletta M., Oliver S., Houck J. R., Smith H. E., 2008, ApJ 677, 957
13. Iwasawa K., Sanders D. B., Teng S. H. i in., 2011, AA 529, A106
14. Howell J. H., Armus L., Mazzarella J. M. i in., 2010, ApJ 715, 572
15. U V., Sanders D. B., Mazzarella J. M. i in., 2012, ApJSS 203, 9
16. Kim D.-C., Sanders D. B., 1998, ApJSS 119, 41
17. Takeuchi T. T., Buat V., Burgarella D., 2005, AA 440, L17
18. Symeonidis M., Page M. J., Seymour N., 2011, MNRAS 411, 983
19. Symeonidis M. i in., 2013, MNRAS 431, 2317
20. Solarz A., Pollo A., Takeuchi T. T., Małek K. i in., 2015, AA 582, A58
21. Noeske K. G., Weiner B. J., Faber S. M. i in., 2007, ApJ 660, L43
22. da Cunha E., Charmandaris V., Díaz-Santos T. i in., 2010, AA 523, A78
23. da Cunha E., Walte, F., Smail I. R. i in., 2015, ApJ 806, 110
24. Podigachoski P., Barthel P. D., Haas M. i in., 2015, AA 575, A80
25. Veilleux S., Sanders D. B., Kim D.-C., 1997, ApJ 484, 92
26. Farrah D., Bernard-Salas J., Spoon H. W. W. i in., 2007, ApJ 667, 149
27. Veilleux S., Rupke D. S. N., Kim D.-C. i in., 2009, ApJSS 182, 628
28. Alonso-Herrero, A., Pereira-Santaella, M., Rieke, G. H., & Rigopoulou, D. 2012, ApJ 744, 2
29. Małek K., Bankowicz M., Pollo A. i in., 2017, AA 598, A1
30. Nardini E., Risaliti G., Watebe Y., Salvati M., Sani, E., 2010, MNRAS 405, 2505
31. Carpineti A., Kaviraj S., Hyde A. K., i in., 2015, AA 577, A119
32. Goto T., 2005, MNRAS 360,322
33. Zauderer B. A., Veilleux S., Yee H. K. C., 2007, ApJ 659, 1096
34. Hwang H. S., Elbaz D., Lee J. C. i in., 2010, AA 522, A33
35. Burton C. S., Jarvis M. J., Smith D. J. B. i in., 2013, MNRAS 433, 771

36. Ziparo F., Popesso P., Finoguenov A. i in., 2014, MNRAS 437, 458
37. Lin L., Cooper M. C., Jian H.-Y. i in., 2010, ApJ 718, 1158
38. Małek K., Pollo A., Takeuchi T. T. i in., 2013, Earth, Planets, and Space 65, 1101
39. Małek K., Pollo A., Takeuchi T. T. i in., 2014, AA 562, A15
40. Małek K., Pollo A., Takeuchi T. T. i in., 2010, AA 514, 11
41. Noll S., Burgarella D., Giovannoli E., Buat V. i in., 2009, AA 507, 1793
42. Serra P., Amblard A., Temi P., Burgarella D. i in., 2011, ApJ 740, 22
43. Melbourne J., Ammons M., Wright S. A. i in., 2008, AJ 135, 1207
44. Giovannoli E., Buat V., Noll S., Burgarella D., Magnelli B., 2011, AA 525, A150
45. Pereira-Santaella M., Alonso-Herrero A., Santos-Lleo M. i in., 2011, AA 535, A93
46. Rothberg B., Fischer J., Rodrigues M., Sanders D. B., 2013, ApJ 767, 72
47. Santos J. S., Altieri B., Valtchanov I. i in., 2015, MNRAS 447, L65



Ceremonia wciągania flagi w OAKJ podczas IX konferencji młodych *Astrophisica Nova*.

Największe radioźródła typu FR II na najwyższych wartościach przesunięcia ku czerwieni

Elżbieta Kuligowska^{1,2}

¹ Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

² Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie

Prezentujemy wstępne wyniki projektu badawczego mającego na celu próbę detekcji odległych ($z > 2$) radioźródeł typu FR II (Fanaroff i Riley, 1974) o dużych rozmiarach liniowych. Ze względu na duże wartości przesunięć ku czerwieni tych hipotetycznych radioźródeł, odchodzimy w tym przypadku od klasycznej definicji gigantycznych radiogalaktyk, rozumianych zwykle jako obiekty o rozmiarach (rozpiętości łobów) większych niż 1 Mpc, starając się oszacować największe rozmiary liniowe przyjmowane przez takie obiekty na najwyższych wartościach przesunięcia ku czerwieni. Jednocześnie próbujemy wyznaczyć maksymalne przesunięcia ku czerwieni dla galaktyk i kwazarów, w przypadku których obserwuje się jeszcze struktury radiowe stowarzyszone z tymi obiektami centralnymi.

Wprowadzenie

Do rozciągniętych radioźródeł pozagalaktycznych zalicza się obiekty, w przypadku których obserwowany rozkład promieniowania radiowego nie pokrywa się w całości z ich obserwowanymi przez teleskopy optyczne jądrami. Większość emisji radiowej w tych obiektach pochodzi wówczas z tak zwanych łobów radiowych – eliptycznych obszarów ułożonych w przybliżeniu symetrycznie po obu stronach aktywnego jądra. W przypadku pobliskich radioźródeł daje się też często dostrzec dżety radiowe – wąskie strugi łączące jądro z łobami i zasilające je nowymi cząsteczkami. Przeciwbieżne dżety są wynikiem istnienia masywnych czarnych dziur z dyskiem akrecyjnym i polem magnetycznym. Ich wyrzut wiąże się ze spinem obracającej się czarnej dziury. Naładowana elektrycznie plazma pochodząca z dysku akrecyjnego jest przyspieszana w toroidalnym polu magnetycznym czarnej dziury, a następnie kierowana w jej rejony biegunowe. Emisja radiowa łobów jest z kolei związana z promieniowaniem synchrotronowym wysokoenergetycznych cząsteczek dżetu, które poruszają się po torach zakrzywionych w obecności silnych pól magnetycznych występujących w radiogalaktykach. Dżety te mogą propagować się w bardzo dużych odległościach od galaktyki macierzystej. Podróżują wówczas przez ośrodek gromady galaktyk, a następnie przez nieco rzadszy ośrodek międzygalaktyczny (IGM). W ośrodkach tych średnia gęstość materii jest jednak wyższa niż gęstość relatywistycznej plazmy tworzącej dżet. Oznacza to, że w pewnej odległości od centrum dżety nie mogą już dłużej poruszać się w danym ośrodku, a na ich końcach tworzy się spiętrzenie relatywistycznej materii, które charakteryzuje się znacznym ciśnieniem. Materia ta rozprzeszczerza się jednak dalej, w rezultacie formując rozległe łoby radiowe.

Klasyfikacja radiogalaktyk

Morfologia radiogalaktyk wynika z dwóch czynników: energii emitowanych przez ich aktywne centra oraz środowiska, w którym obiekty te ewoluują. Kolimacja dżetów zależy na przykład od całkowitej energii obiektu. Jeśli dżety radiowe są silnie skolimowane, mogą poruszać się szybciej i nieść energię dalej. Jeżeli jednak energia jądra jest niewielka, łąby są zasilane słabo skolimowanymi dżetami i wówczas mogą się w nich rozwijać ruchy turbulenty. Cała struktura jawi się nam jako wyraźnie słabsza, a w pewnej odległości od jądra rozmywa się. Są to tak zwane radiogalaktyki typu FRI. Jeżeli jednak dżety są silne i skolimowane, obserwuje się wyraźne obłoki radiowe z gorącymi plamami (ang. hot spots) - jasnymi obszarami na brzegach ich struktur, w miejscach, gdzie dochodzi do kolizji dżetu z ośrodkiem międzygalaktycznym. Mówi się wówczas o radiogalaktykach typu FR II, które są na ogół jaśniejsze i bardziej wyraźne na mapach radiowych.

Rozmiary radiogalaktyk

Typowe rozmiary radiogalaktyk są rzędu 200 kpc. Znane są jednak przypadki obiektów znacznie większych. Radiogalaktyki gigantyczne (ang. Giant Radio Galaxies, GRGs) definiuje się jako obiekty o rozmiarach nie mniejszych niż 1 Mpc (Ishwara-Chandra i Saikia, 1999). Są to najprawdopodobniej radioźródła o bardzo dużym wieku, nie wiadomo wciąż jednak, czego wynikiem są ich duże rozmiary liniowe. Radiogalaktyki gigantyczne mogą wywodzić się z silnych obiektów typu FR II. Zgodnie z inną hipotezą obiekty te ewoluują na skutek istnienia lokalnych "pustek" - obszarów Wszechświata o znacznie niższej niż przeciętna gęstości ośrodka międzygalaktycznego.

Radioźródła gigantyczne są istotne z punktu widzenia możliwości badań ośrodka międzygalaktycznego na różnych wartościach przesunięcia ku czerwieni (Kapahi, 1989). Badania te są pomocne w ocenie gęstości ośrodka międzygalaktycznego w dawnych epokach kosmologicznych, odpowiadających wczesnemu okresowi istnienia Wszechświata (redshifty z zakresu 1–2) oraz skal jego fluktuacji. Większość znanych GRGs to obiekty bliskie, charakteryzujące się niewielkimi wartościami przesunięcia ku czerwieni ($z < 0.5$). Coraz częściej wykrywane są jednak dużo bardziej odległe radiogalaktyki gigantyczne. Jeśli prawdziwa jest hipoteza, zgodnie z którą radiogalaktyki te powstają w ośrodkach o lokalnie mniejszej gęstością, to detekcja tego typu obiektów na wyższych przesunięciach ku czerwieni może dawać ograniczenia na rozmiary niejednorodności w gęstości Wszechświata w dawnych epokach kosmologicznych.

Wykrywanie radiogalaktyk gigantycznych

Radioźródła GRGs są trudne do badań ze względu na problemy, jakie sprawia skompletowanie ich reprezentatywnej próbki. Są to głównie trudności natury

obserwacyjnej: przy dużej rozciągłości przestrzennej tych obiektów i ich często słabej emisji radiowej, obserwowana na Ziemi jasność powierzchniowa jest na ogół niewielka. Lista znanych radiogalaktyk gigantycznych zawiera niewiele ponad 200 obiektów. Warto dodać, że większość z nich została odkryta przypadkowo – podczas przeglądania map radiowych nieba. Jednak emisja synchrotronowa najsilniejszych radiogalaktyk może być na tyle znacząca, że da się je zaobserwować nawet w bardzo dużych odległościach kosmologicznych (promieniowanie synchrotronowe słabo podlega ekstynkcji międzygalaktycznej).

Metody wyszukiwania radioźródeł rozciągniętych

Współczesne przeglądy i katalogi danych astronomicznych pozwalają na masowe wykrywanie obiektów o danej morfologii. Ze względu na duże ilości tych danych wyszukiwania takie przeprowadzane są obecnie zazwyczaj w sposób częściowo automatyczny. Metody te bazują na mapach radiowych lub na katalogach tworzonych w formie danych tekstowych. Jedną z najczęściej wykorzystywanych metod identyfikacji radioźródeł jest korelacja (ang. cross-correlation) dwóch zbiorów danych. Przykładowo, można przeprowadzić automatyczną korelację danych optycznych zawierających położenia wszystkich kwazarów i galaktyk o danych właściwościach z danymi radiowymi zawierającymi informację o strumieniu radiowym i położeniach wszystkich radioźródeł na niebie – dzięki temu otrzymujemy listę wszystkich obiektów centralnych, którym – przy zadanej dokładności – odpowiada obiekt emitujący fale radiowe. Przykładem zastosowania takiej metody jest praca Best i Heckman (2012), w której zaprezentowano nową próbkę radiowo głośnych kwazarów, skonstruowaną na bazie katalogu optycznego SDSS DR7 z dwoma katalogami radiowymi: NRAO VLA Sky Survey, NVSS (Condon i in., 1998) i Faint Images of the Radio Sky at Twenty centimetres, FIRST (Becker et al., 1995). Przeprowadzane są także bardziej złożone przeszukiwania i korelacje katalogów (Proctor 2016, van Velzen 2015). Wszystkie te metody wiążą się jednak z pewnym ryzykiem: przy przyjęciu zbyt szerokich kryteriów wyszukiwania istnieje możliwość otrzymania na wyjściu programu dużej ilości błędnych detekcji (artefakty radiowe, obiekty nie będące w rzeczywistości radioźródłami o zadanej morfologii); jeśli jednak kryteria te okażą się zbyt restrykcyjne, grozi nam pominięcie radioźródeł o nieco bardziej odbiegającej od przyjętej normy morfologii.

Źródła danych

W niniejszej pracy, która miała na celu określenie maksymalnych rozmiarów osiąganych przez radioźródła znajdujące się na danych wartościach przesunięcia ku czerwieni, zdecydowaliśmy się na wykorzystanie dwóch katalogów radiowych obejmujących niemal całe niebo północne i część nieba południowego – FIRST i NVSS. Zawierają one obserwacje wykonane na częstotli-

wości 1400 MHz, ale z różną zdolnością rozdzielczą, dzięki czemu ich jednoczesne wykorzystanie pozwala na wykrycie zarówno struktur widocznych tylko w niewielkich skalach (FIRST), jak i rozległych obszarów emisji o niewielkiej jasności radiowej (NVSS). Jako źródła danych optycznych i spektroskopowych użyliśmy najnowszej wersji katalogu SDSS DR 14 (Abolfathi i in., 2017), z której wyselekcjonowaliśmy próbkę złożoną ze wszystkich obiektów spektralnych (galaktyki i kwazary) o wartościach przesunięcia ku czerwieni większych niż 2 (był to jedyny warunek nałożony na właściwości potencjalnych jąder wyszukiwanych radiogalaktyk). Lista ta zawiera ponad 200000 obiektów.

Algorytm selekcji radioźródeł

Nasze wyszukiwanie dotyczyło wyłącznie radioźródeł typu FR II – ze względu na ich statystycznie większe jasności radiowe oraz wyraźniej zaznaczające się końce łobów. Opisane wyżej katalogi danych zostały poddane analizie w oparciu o dedykowany algorytm wyszukiwania struktur rozciągłych, złożonych z centralnego jądra optycznego, odpowiadającego mu zwartego radioźródła, oraz pary łobów radiowych położonych w zadanym promieniu wokół tego obiektu centralnego. Założyliśmy przy tym, że promień ten może wynieść nawet do 2 Mpc. Warunek ten pociąga za sobą ryzyko otrzymania wielu błędnych detekcji, jednak tak duży obszar poszukiwań kandydatów na łoby jest niezbędny w przypadku prób detekcji radioźródeł gigantycznych (warto w tym miejscu przypomnieć, że największe z nich mają rozmiary liniowe przekraczające 4 Mpc). Kryteria wyszukiwania obejmowały również:

1. Zgodność pozycji centralnego kwazara bądź galaktyki z odpowiadającym mu, zwartym jądrem radiowym (nie mniejsza niż $5''$).
2. Obecność wykrywalnej struktury radiowej w obu katalogach radiowych – FIRST i NVSS.
3. Obecność co najmniej dwóch kandydatów na łoby radiowe oraz ich współliniowość, zdefiniowana dopuszczalnym kątem odchylenia kandydatów od linii łączącej je ze sobą i przechodzącej przez centrum optyczne.
4. Symetrię - różnica odległości obu kandydatów na łoby od centrum radiogalaktyki nie może być większa niż uśredniona odległość pomiędzy łobem a centrum dla danej pary łobów.
5. Kształt kandydatów na łoby – nie mogą być one kołowe. Brak kołowości łobów można formalnie wyrazić różnicą w wielkościach ich obu półosi (jeśli półosie są zbliżonej wielkości, łoby uważa się za kołowe).

Powyższe kryteria zostały wyznaczone i dopasowane metodą nadzorowanego uczenia maszynowego (ang. machine learning). Polegało ono na rekurencyjnym doborze najbardziej optymalnych parametrów, które wynikały z użycia próbki danych testowych (znanych wcześniej radiogalaktyk typu FR II, w szczególności tych wykrytych na niższych przesunięciach ku czerwieni) oraz z porównywania w każdym kroku tego procesu otrzymywanych

na wyjściu wyników: stosunku ilości detekcji prawdziwych (wiarygodni kandydaci na poszukiwane obiekty) i fałszywych (obiekty innego typu, artefakty radiowe). W toku procesu uczenia maszynowego okazało się, że warunek nie kołowości lobów nie ma zastosowania w przypadku danych z katalogu FIRST. Odeszliśmy także od rozważanego wcześniej warunku dolnego ograniczenia na gęstość strumienia radiowego dla obiektów będących potencjalnymi lobami, bowiem wykrywane były także bardzo słabe radiowo, ale przy tym wiarygodnie wyglądające struktury FRII.

Opracowaliśmy również analogiczną procedurę wyszukiwania i testowania algorytmu dla tych radioźródeł typu FRII, których centra nie posiadają zwartej odpowiednika radiowego – zatem w ich przypadku należy pominąć warunek 1 i od razu przejść do prób detekcji kandydatów na loby. Dodatkowo, mając na uwadze to, że najbardziej od nas odległe radioźródła mogą być słabo widoczne na falach radiowych, a ich loby mogą wówczas jawić się nam jako połączone, przeszukaliśmy katalogi radiowe pod kątem pojedynczych, wydłużonych w jednej osi struktur skorelowanych z centralnymi galaktykami i kwazarami.

Wstępne wyniki

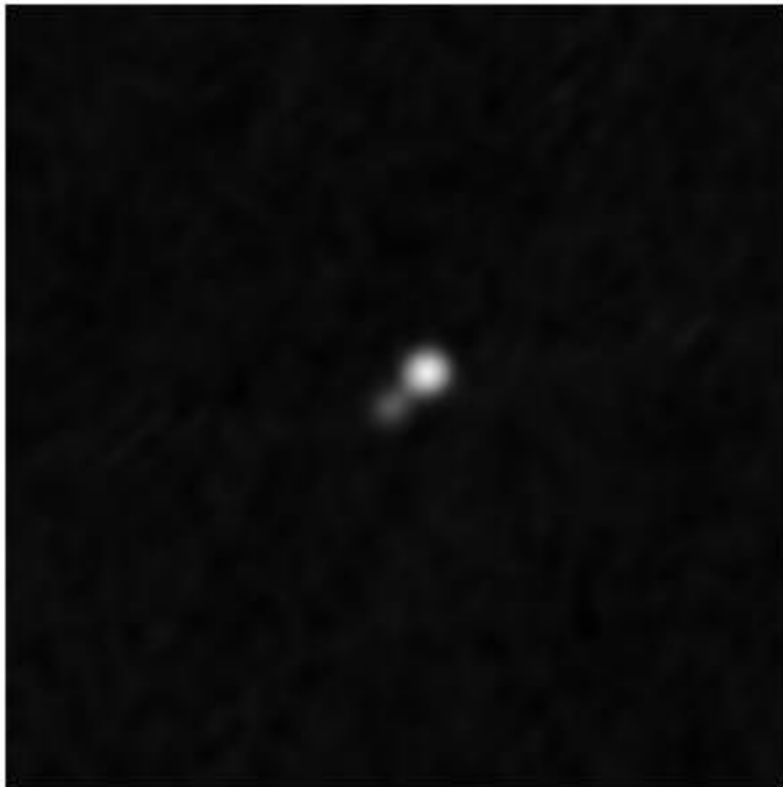
Bezpośrednim wynikiem omówionego wyżej projektu jest nowa próbka złożona ze 186 kandydatów na radiogalaktyki typu FRII, o aktywnych centrach na przesunięciach ku czerwieni większych niż 2. Pod względem statystycznym cechuje się ona następującymi właściwościami:

1. Zdecydowana większość wykrytych obiektów to kwazary. Jest to zgodne z przewidywaniami – kwazary stanowiły znaczną większość analizowanych kandydatów na centra radiogalaktyk.
2. 92 obiekty z próbki to radiogalaktyki z wykrytym jądrem radiowym; znaleźliśmy również 94 obiekty bez jądra radiowego.
3. W przypadku 120 obiektów z próbki ich identyfikacja optyczna jest jednoznaczna. W pozostałych 66 mamy do czynienia z obiektami, których struktury radiowe mogą, ale niekoniecznie muszą, odpowiadać kwazarom lub galaktykom o dużych wartościach przesunięcia ku czerwieni. Są to przykładowo te obiekty centralne, w których bliskim sąsiedztwie znajdują się również kwazary lub galaktyki położone znacznie bliżej nas – w tych przypadkach określenie, który z obiektów obserwowanych optycznie jest faktycznym centrum wykrytej struktury radiowej, może być bardzo trudne – szczególnie gdy radiogalaktyka nie posiada zwartej jądra radiowego.
4. Wykryliśmy 65 obiektów znalezionych wcześniej w pracy van Velzena (van Velzen i in., 2015), ale zaprezentowanych w niej jako struktury radiowe, którym nie przypisano żadnego konkretnego centrum ze zmierzonym redshiftem. W naszym przypadku udało się wykonać takie korelacje dla danych radiowych i optycznych. W naszej finalnej próbce jest również 60 obiektów z pracy van Velzena, które są w niej zaprezentowane wraz z przypisanymi im

kwazarami lub galaktykami centralnymi, przy czym połowa z podanych dla nich przesunięć ku czerwieni jest wyznaczona błędnie lub też są one wyznaczone na nowo/poprawione w aktualnej wersji SDSS – Data Release 14.

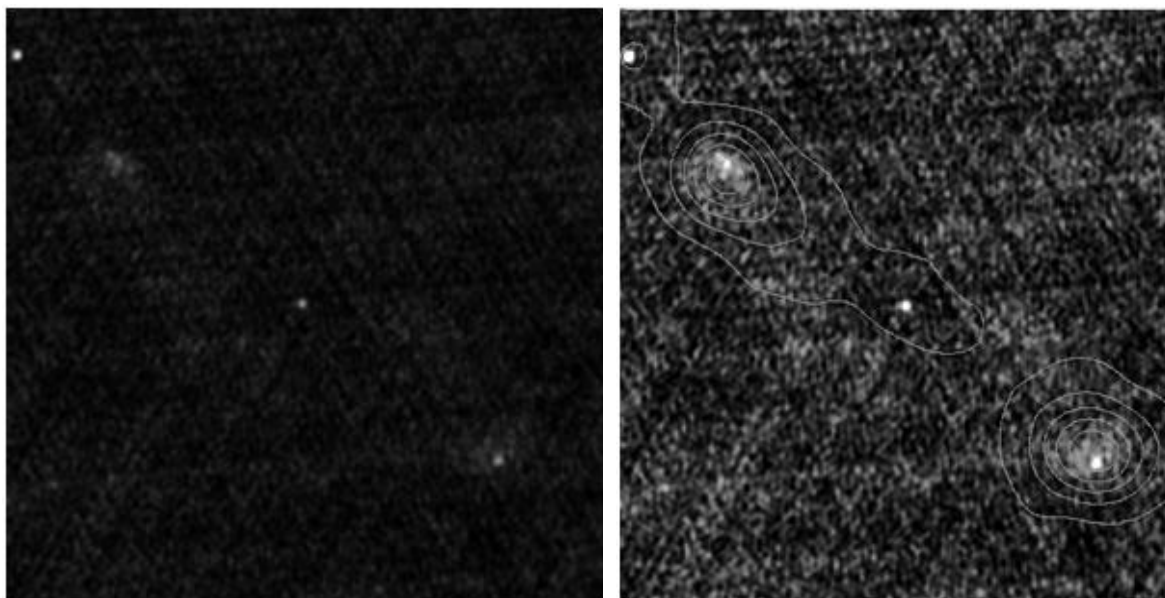
5. Największe ze znalezionych przez nas obiektów mają rozmiary liniowe 1203, 1745 i 1349 kpc i występują na przesunięciach ku czerwieni wynoszących odpowiednio 2.028, 2.494 i 2.052.

6. Najbardziej odległym ze znalezionych kandydatów na radioźródła rozciągle jest obiekt o przesunięciu ku czerwieni 4.324, o rozmiarze liniowym rzędu 100 kpc. Choć w jego przypadku identyfikacja optyczna i wyznaczony redshift są bardzo wiarygodne, to już struktura radiowa – choć wykazuje prawdopodobną obecność dwóch lobów – jest asymetryczna i mało wyraźna. Warto dodać, że nasza próbka obiektów po selekcji początkowo liczyła aż 18 struktur radiowych, które algorytm wskazał jako powiązane z obiektami spektroskopowymi o przesunięciach ku czerwieni większych niż 4. Dokładna ocena ich widm radiowych, wykazała jednak, że te wartości przesunięć ku czerwieni (pochodzące z katalogu SDSS) wyznaczone są we wszystkich 17 przypadkach poza jednym błędnie, albo też identyfikacja linii widmowych i przesunięć ku czerwieni nie jest wystarczająco jednoznaczna.



Ryc. 1. Kandydat na radioźródło rozciągle J0859 +1018 na $z = 4.324$ (mapa FIRST).

Wyniki testowania naszego algorytmu zaowocowały również wykryciem szeregu nieznanych dotąd radiogalaktyk typu FR II na przesunięciach ku czerwieni mniejszych niż 2. Detekcje te są efektem procesu uczenia maszynowego, które było przeprowadzane początkowo dla zróżnicowanych danych kontrolnych o różnych parametrach.



Ryc. 2 i 3. Kandydat na nową radiogalaktykę gigantyczną na $z \sim 0.3$ - J1425+1737 (po lewej: mapa FIRST, po prawej – mapa FIRST wykonana w skali logarytmicznej, z nałożonymi konturami radiowymi z przeglądu NVSS).

Podsumowanie

Głównym celem zaprezentowanej tu pracy było oszacowanie, na jak dużych przesunięciach ku czerwieni wciąż jeszcze możliwe jest wykrywanie struktur charakterystycznych dla radioźródeł typu FR II. Przy pomocy autorskiego algorytmu wykryliśmy 186 kandydatów na radioźródła tego typu, przy czym 62 z nich to obiekty całkowicie nowe – nie indeksowane wcześniej w podobnych publikacjach tego rodzaju. Wśród nich znalazło się dziewięć radioźródeł o rozmiarach liniowych większych niż 400 kpc, w tym trzy obiekty większe od 1 Mpc. Najmniejsze ze znalezionych przez nas radioźródeł mają rozmiary rzędu kilkudziesięciu kpc. Przesunięcia ku czerwieni dla tej próbki kandydatów wahają się od 2.000 do 4.324. W ramach dalszych prac planujemy dokładniejszą analizę znalezionych obiektów, w tym potwierdzenie ich identyfikacji widmowej, jak również aplikowanie o dedykowane obserwacje radiowe.

Zaprezentowane tu badania były współfinansowane przez grant Narodowego Centrum Nauki o numerze 2013/09/B/ST9/00599.

Literatura

- Abolfathi B. i in., 2017, The Fourteenth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey
 Becker R., White R., Helfand D., 1995, The FIRST Survey: Faint Images of the Radio Sky at Twenty Centimeters 450, 559
 Best P. N., Heckman T. M., 2012, On the fundamental dichotomy in the local radio-AGN population: accretion, evolution and host galaxy properties 421, 1569
 Condon J. J. i in., 1998, The NRAO VLA Sky Survey 115, 1693
 Fanaroff B. L., Riley J. M., 1974, The morphology of extragalactic radio sources of high

and low luminosity 167, 31
Ishwara-Chandra C. H. i Saikia D. J., 1999, Giant radio sources 309, 1001
Kapahi V. K., 1989, Redshift and luminosity dependence of the linear sizes of powerful radio galaxies 97, 1
Proctor D. D., 2016, A Selection of Giant Radio Sources from NVSS 224, 18
Van Velzen S., Falcke H., Kording E., 2015, Nature and evolution of powerful radio galaxies at $z=1$ and their link with the quasar luminosity function 446, 2985



Uczestnicy IX konferencji młodych z serii *Astrophisica Nova* (OAKJ w Rzepienniku Biskupim, 29-30 września 2017).

Uporządkowanie orientacji galaktyk w gromadach w zależności od typów morfologicznych

Włodzimierz Godłowski, Joanna Popiela,
Paulina Pajowska i Vladimir Stephanovich

Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego

Abstrakt

Jednym z najważniejszych zagadnień współczesnej astronomii pozagalaktycznej i kosmologii jest problem powstawania struktur, rozumianych jako konglomeraty mniejszej lub większej liczby galaktyk. Różne modele mogą wyjaśniać różne aspekty procesu powstawania galaktyk w różnych skalach, a także różne obserwacyjne cechy struktur. Badania orientacji galaktyk stanowią standardowy test scenariuszy powstawania galaktyk, ponieważ zaobserwowane zmiany momentu pędu stanowią podstawowe ograniczenia dla dowolnego modelu tworzenia się galaktyk. Dzieje się tak dlatego, że kąty pozycyjne głównych osi galaktyk, jak również dwa kąty δ_D i η opisujące orientację przestrzenną płaszczyzny galaktyk, dają informacje o momentach obrotowych galaktyk. Nowa metoda badania orientacji galaktyk w gromadach została zaproponowana w artykule Godłowski (2012).

Rozkłady analizowanych kątów zostały przetestowane na izotropię poprzez zastosowanie różnych testów statystycznych. Dla naszej próbki gromad obliczyliśmy średnie wartości wybranych statystyk, sprawdzając, czy są one takie same, jak oczekiwane w przypadku losowego rozkładu rozważanych kątów. Przeanalizowaliśmy orientację galaktyk w 247 bogatych gromadach Abell'a z katalogu Panko i Flin (2006), mających co najmniej 100 członków. W pracy Godłowski (2012) wykazano, że orientacje galaktyk w analizowanych gromadach nie są przypadkowe. Obecna analiza pokazuje, że ten wynik jest niezależny od typów Bautz-Morgana gromad galaktyk.

Wstęp

Zasadniczą ideą naszych badań jest wykorzystanie nowej metody teoretycznej (Stephanovich i Godłowski 2015, Godłowski i in. 2017), która bierze pod uwagę wyliczony przez nas rozkład pól grawitacyjnych, działających w zespołach obiektów astronomicznych (czyli gwiazd, galaktyk i ich gromad), oraz metody badania orientacji galaktyk w gromadach Godłowski (2012), Godłowski i in. (2016, 2017), do weryfikacji sprawdzalności przewidywań współczesnych scenariuszy formowania się galaktyk i ich gromad.

W pracy Godłowski i in. (2010) pokazano, że uporządkowanie orientacji galaktyk w gromadach rośnie wraz z liczebnością analizowanej gromady. W pracach (Stephanovich i Godłowski, 2015, 2017) na pierwszym etapie, na podstawie postaci jawnej oddziaływania pływowego multipolowego, uzyskanego przez rozwinięcie oddziaływania grawitacyjnego Newtona na harmoniki

sferyczne (ograniczenie do członu kwadrupolowego), otrzymano nie Gausowską funkcję rozkładu pól grawitacyjnych w zespołach galaktyk i ich gromad. Ta funkcja została wykorzystana do uzyskania wzorów zależności pomiędzy różnymi parametrami, takimi jak przykładowo pomiędzy masą M gromady galaktyk i jej średnim momentem pędu L : $L=aM^b$, gdzie a i b to współczynniki proporcjonalności. Nasza analiza potwierdziła, że uporządkowanie galaktyk w gromadzie zależy od ich liczebności. Ponadto pokazała, że dokładna forma odpowiadającej zależności wynika z założeń dotyczących morfologii gromad i w rezultacie współczynnik b niekoniecznie jest równy $5/3$, jak zazwyczaj przyjmowano. Jednakże, obecne dane obserwacyjne nie są wystarczające do obserwacyjnego rozstrzygnięcia kwestii wartości współczynnika b ; czy jest on równy 1 (zależność liniowa), czy $4/3$ albo może $5/3$.

W pracach Godłowski (2012) i Godłowski i in. (2016, 2017) omówiliśmy nową metodę badania orientacji galaktyk w gromadach. W pracy Godłowski (2012) wykazano, że orientacje galaktyk w analizowanych gromadach nie są przypadkowe. Obecnie zastosujemy naszą metodę do zbadania, czy orientacja galaktyk w gromadach zależy od ich typów Bautz-Morgana (BM).

Metoda badawcza

Na wstępie krótko przypomnimy naszą metodę badawczą prezentowaną w naszych poprzednich pracach Godłowski (2012), Godłowski i in. (2016, 2017). W badaniach orientacji galaktyk są używane testy: χ^2 , Fouriera, pierwszej autokorelacji i Kołmogorowa-Smirnowa. Dla każdej z badanych gromad zostają obliczane wartości statystyk testowych, mierzących odchylenie rozkładów kątów pozycyjnych od rozkładu równomiernego. Następnie jest badana ich zależność od liczebności gromad i ich typu morfologicznego. W przyszłości możliwe będzie również zbadanie zależności uporządkowania galaktyk w gromadzie od dyspersji prędkości radialnych galaktyk w gromadzie oraz ich przesunięcia ku czerwieni. Niezależnie zostaną obliczone średnie wartości statystyk testowych oraz ich błędy w całej analizowanej próbie, po to, by sprawdzić czy otrzymane wartości zgadzają się z wartościami, które przewidujemy w przypadku, gdyby rozkład orientacji galaktyk w badanej próbie był losowy. Te wartości można będzie porównać zarówno z przewidywaniami teoretycznymi, jak i z wynikami symulacji komputerowych. Hipotezą zerową H_0 jest hipoteza, że wartości średnie analizowanych statystyk są takie same, jak wartości oczekiwane w przypadku rozkładu losowego. Niezależnie zostaną wyznaczone wartości statystyk testowych za pomocą symulacji numerycznych. W symulacjach komputerowych kluczowy jest właściwy dobór generatora, który nie tylko musi mieć duży okres powtarzalności wyników, ale musi być również wolny od efektów autokorelacji. W przypadku, gdy ma służyć jako generator wielowymiarowy, ma być wolny od efektów „losowania po hiperpowierzchniach”. W niniejszym projekcie zostanie zastosowany generator RANLUX (Luescher 1994, 2010, James 1994), który ma najlepsze własności

teoretyczne (np. okres 10^{171}) i którego użyteczność do analizy badanych zagadnień została zbadana w pracy Godłowski 2012. Metody używane do wyznaczenia orientacji galaktyk zostaną także użyte do badania problemu orientacji struktur galaktyk, takich jak grupy i gromady galaktyk, jak również do badania relacji między orientacjami gromad, a orientacjami poszczególnych ich członków (Godłowski i Flin 2010).

Prace dotyczące orientacji w gromadach dotyczyły jednej albo, co najwyżej, paru gromad galaktyk. W pracach Godłowski i in. (2010), Flin i in. (2011), Godłowski (2012) rozważano próbkę 247 gromad Abell'a, to jest o rząd wielkości więcej, niż w pracy Aryal, Pudiel i Saurer (2007), podsumowującej badania w tej dziedzinie Aryal'a i jego współpracowników. Dzięki zwiększeniu próby obserwacyjnej do 247 gromad, możliwe było skuteczne przebadanie własności statystycznych całej próbki.

Przedstawiony projekt pozwala na systematyczne przebadanie kilku parametrów obserwacyjnych, które służą do testowania teorii powstawania galaktyk i ich struktur. Jego zasadniczą część, tj. baza obserwacyjna już istnieje. W oparciu o Muenster Red Sky Survey (Ungruhe i in. 2003), który jest katalogiem galaktyk obejmującym ponad 5000 stopni kwadratowych nieba południowego i liczącym ponad 5.5 miliona galaktyk, opracowano katalog struktur (Panko i Flin 2006). Stosując metodę mozaiki Voronoi'a otrzymano katalog 6188 struktur, liczących ponad 10 obiektów każda. Katalog ten (nazwany katalogiem PF) zawiera następujące informacje o strukturach: wielkość powierzchni struktury, liczbę obiektów w strukturze, wielkości dużej i małej półosi struktury, eliptyczność, kąt pozycyjny dużej osi struktury, średni kąt pozycyjny oraz średnią eliptyczność galaktyk wchodzących w skład struktury (Panko i Flin 2006). Znana jest także lista galaktyk wchodzących w skład struktury, ich współrzędne, jasności, eliptyczności, wartości dużej półosi i kąty pozycyjne. Z katalogu tego wyselekcjonowano próbkę 247 bogatych (co najmniej 100 członków) gromad mających identyfikację, jako gromady Abell'a (Abell, Corwin, Olowin, 1989). Naturalnym problemem badawczym, który się nasuwa, jest też rozstrzygnięcie czy obserwujemy jedynie wzrost uporządkowania wraz ze wzrostem liczebności gromady, czy też w analizowanej próbce można stwierdzić występowanie uporządkowania galaktyk, jako takiego.

Metoda analizy orientacji galaktyk w gromadach bazuje na analizie statystycznej rozkładu kątów pozycyjnych galaktyk, zaproponowanej przez Hawley'a i Peebles'a (1976), polegającej na użyciu do badania analizowanych kątów pozycyjnych testów χ^2 , Fouriera i pierwszej autokorelacji. W naszych pracach pokazaliśmy, że analiza przestrzennej orientacji płaszczyzn galaktyk może być używana, jako standardowy test scenariuszy formowania galaktyk (Flin i Godłowski 1986, Godłowski 1993, 1994, Godłowski i Ostrowski 1999, Godłowski i in. 2010, Flin i in. 2011, Godłowski 2011a). Godłowski (2011b, 2012), badając rozkłady kątów pozycyjnych, ulepszył oryginalną metodę Hawley'a i Peebles'a (1976).

Główne testy zaproponowane przez autorów to: test χ^2 , test Fouriera i test pierwszej autokorelacji. We wszystkich testach wartości kątów pozycyjnych są przypisywane do $n=36$ kątowych przedziałów o równej długości. Liczba galaktyk w k -tym przedziale kątowym jest liczbą galaktyk z kątami pozycyjnymi o wartościach odpowiadających temu przedziałowi. W teście Fouriera zakłada się, że odchylenia od izotropii są wolno zmienną funkcją testowego kąta θ (równego w omawianym przypadku kątowi pozycyjnemu galaktyki). Są one opisywane za pomocą modelu falowego, zgodnie ze wzorem: $N_k = N_{0,k} (1 + \Delta_{11} \cos 2\theta_k + \Delta_{21} \sin 2\theta_k)$, gdzie $N_{0,k}$ jest teoretyczną liczbą galaktyk w k -tym przedziale kątowym. W omawianym przypadku badamy rozkłady kątów pozycyjnych, a naszą hipotezą H_0 jest hipoteza, że rozkład jest izotropowy, więc wszystkie wartości $N_{0,k}$ są sobie równe. Test pierwszej autokorelacji bada korelację między ilościami galaktyk w sąsiednich przedziałach kątowych, wyrażoną wzorem: $C = \sum (N_k N_{0,k})(N_{k+1} - N_{0,k}) / N_{0,k}$, przy czym przedział $k=n+1$ (w naszym przypadku $k=37$) odpowiada przedziałowi $k=1$.

Wspomniane metody zostały następnie rozwinięte w kolejnych pracach Godłowskiego (1993, 1994). W pracach tych explicite wprowadzono formuły na test Fouriera i pierwszej autokorelacji. Rozszerzono ponadto test Fouriera, wprowadzając w modelu falowym nowy człon zależny od 4θ . Teraz odchylenia od izotropii będą wolno zmienną funkcją testowego kąta θ , zgodnie ze wzorem:

$$N_k = N_{0,k} (1 + \Delta_{11} \cos 2\theta_k + \Delta_{21} \sin 2\theta_k + \Delta_{12} \cos 4\theta_k + \Delta_{22} \sin 4\theta_k).$$

Analiza przedstawionego wyżej modelu falowego pozwala również wyznaczyć kierunek odchylenia od izotropii. Interesujące jest zwłaszcza badanie współczynnika Δ_{11} . Jeśli wartość tego współczynnika jest ujemna to znaczy, że mamy przewagę galaktyk z kątami testowymi w zakresie (45° - 135°). W analizowanym przypadku oznacza to, że kąty pozycyjne mają tendencję do ustawiania się równoległe do płaszczyzny głównej układu współrzędnych. W przypadku układu Supergalaktycznego jest to płaszczyzna główna Lokalnej Supergromady.

Oryginalny wynik Hawley'a i Peebles'a dotyczący testu pierwszej autokorelacji został otrzymany przy założeniu, iż ilości galaktyk w poszczególnych przedziałach kątowych są od siebie niezależne. Tymczasem, jeżeli badamy pogrupowane rozkłady kątów, mamy do czynienia z rozkładem wielomianowym, w którym istnieje nieznikająca kowariancja między ilościami galaktyk w sąsiednich przedziałach kątowych. W rezultacie, po powtórzeniu obliczeń Peebles'a dotyczących wartości oczekiwanych statystyki C , okazało się, że wartość ta wynosi $C = -1$ zamiast $C = 0$, jak w przybliżeniu Hawley'a i Peebles'a. Przybliżenie Hawley'a i Peebles'a działa dobrze w przypadku jednej struktury. Jednakże, gdy rozpatrujemy dużą próbkę struktur, taka różnica wartości oczekiwanych przekłada się, przykładowo przy liczebności próby 247, na efekt prawie na poziomie 3σ . Z kolei analiza testu Fouriera wykazała, że

błąd amplitudy Δ (mierzącej odchylenie od izotropii) obliczano dotąd z prawa propagacji błędów, które zakłada liniową zależność między zmiennymi (albo przynajmniej zakłada, że rozwinięcie funkcji w szereg Taylora z dokładnością do wyrazu liniowego jest wystarczające). W pracy Godłowski (2012) pokazano, że w rozpatrywanym przypadku przybliżenie liniowe nie jest zadowalające. W konsekwencji, konieczne było ponowne wyliczenie błędów amplitudy Δ w oparciu o dokładniejsze przybliżenie oraz sprawdzenie jego poprawności poprzez symulacje komputerowe, przy zastosowaniu generatora liczb losowych. Okazało się, że dotychczas stosowane generatory losowe mają niewystarczający dla naszych celów okres powtarzalności generatora, nie są również wolne od efektów autokorelacji oraz specyficznych efektów powstających przy losowaniu po hiperpowierzchniach. Przebadano szereg generatorów liczb losowych w ten sposób, że przy pomocy każdego z nich wygenerowano losowe rozkłady kątów pozycyjnych w 247 gromadach, liczących po 2360 galaktyk każda. Dla każdej z gromad wyliczono wartości statystyk testowych, a następnie wartość średnią w całej próbie. Wykonano 1000 takich symulacji. Do testów wybrano statystyki: χ^2 , C , $\Delta_{11}/\sigma(\Delta_{11})$, ponieważ mają one dobrze przewidziane teoretycznie zarówno wartości oczekiwane jak i wariancje (z wyjątkiem wariancji statystyki C). Wyliczono wartości średnie statystyk z 1000 symulacji oraz ich wariancje, wariancje wartości średnich oraz wariancje estymatora wariancji. Ostatecznie okazało się, że wymagania spełnia jedynie zazwyczaj nie stosowany w badaniach astronomicznych generator RANLUX. Generator ten wybrano jako generator bazowy i taką też rolę będzie on spełniał w naszym projekcie.

W niniejszej pracy opisywane wyżej testy zostały wzbogacone o testy kontrolne (Flin i Godłowski 1986). Idea tych testów polega na tym, że rozważane kąty analizujemy jedynie w przedziale $(0, \pi/2)$ a nie $(0, \pi)$, czyli interesuje nas tylko czy ustawienia płaszczyzn galaktyk są bardziej prostopadle czy bardziej równoległe do płaszczyzny głównej układu. Powoduje to pojawienie się nowych statystyk testowych oznaczonych literką C .

Wyniki badań

Na koniec przeanalizowaliśmy różnice między gromadami o różnych typach BM. W tym celu użyto średnich i standardowych odchyłeń dla wszystkich podpróbek i porównano średnie wartości statystyki, stosując następnie dobrze znany test statystyczny. Zazwyczaj, porównując średnie wartości z podpróbek ze znanymi odchyleniami standardowymi, używano statystyki:

$$U = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

gdzie X_1 i X_2 są wartościami średnimi próbek (pod próbki), a n_1 i n_2 są wartościami rozmiaru próbki. Przy założeniu nowej hipotezy zerowej H_0 , która jest prawdziwa, wartości X_1 i X_2 są równe, statystyka U ma standardowy rozkład normalny. Należy jednak zauważyć, że w rzeczywistym przypadku odchylenie standardowe nie jest znane i szacuje się na podstawie próbek. Stąd kluczową sprawą jest, czy oba odchylenia standardowe są sobie równe. Robimy to za pomocą bardzo dobrze znanego testu Fishera. W tym teście korzystamy ze statystyki F :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

gdzie estymatory wariancji wynoszą:

$$S_i^2(x) = \frac{n_i}{n_i - 1} S_i^2(x) = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

Jeżeli hipoteza H_0 , że analizowane wariancje są sobie równe, jest prawdziwa, to F statystyki mają rozkład Snedecora z (n_1-1, n_2-1) stopniami swobody. Nasza analiza pokazuje, że w większości przypadków nie można wykluczyć hipotezy H_0 , że wariancje σ_1 i σ_2 są sobie równe. Wobec tego, dla sprawdzenia istotności różnic średnich wartości w podpróbkach, w tych przypadkach możemy użyć dobrze znanego testu Studenta. Statystyka t :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}}$$

ma rozkład Studenta z (n_1+n_2-2) stopniami swobody, przy założeniu hipotezy H_0 , że rzeczywiste wartości średnie X_1 i X_2 są równe. Wyniki statystyk testowych dla przypadku analizy poszczególnych statystyk dla wszystkich możliwych kombinacji typów morfologicznych są podane w Tabeli. Należy zwrócić uwagę, że ten test jest formalnie ważny tylko w przypadku, gdy odchylenia standardowe są równe. W nielicznych przypadkach, gdy standardowe odchylenia w podpróbkach nie spełniają tego warunku, musimy użyć pełnego testu Cochran-Cox (Satterthwaite 1946, Cochran i Cox 1957; Toutenburg 1995; Krysicki i in. 1998). Statystyki są dane wzorem:

$$CC = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2}{n_2 - 1}}}$$

z przybliżoną wartością krytyczną c

$$c(p, n_1, n_2) \cong \frac{\frac{S_1^2 t(p, n_1 - 1)}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2 t(p, n_2 - 1)}{n_2 - 1}}{\frac{S_1^2}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2}{n_2 - 1}}$$

gdzie $t(p, n_i-1)$ są wartościami krytycznymi (kwantylami) testu Studenta.

Nasza analiza pokazuje, że w większości przypadków nie można wykluczyć hipotezy H_0 , że średnie wartości analizowanych statystyk dla różnych typów BM są równe. W niektórych przypadkach, np. wtedy, gdy porównamy statystyki BM II i BM II-III, ponad połowa (tj. 6) testów pokazuje, że różnice są jednak znaczące.

Wreszcie, udało nam się sprawdzić, czy wartość statystyki dla podpróbek gromady należących do poszczególnych typów BM odbiega od średnich wartości uzyskanych dla całości populacji. Ewentualna różnica jest obserwowana tylko w przypadku typu BM II-III, natomiast dla innych podpróbek co najwyżej jeden test wykazuje możliwe różnice.

Konkluzje

Wyniki naszych prac pokazują, że orientacja galaktyk w bogatych gromadach jest nielosowa. Stopień uporządkowania orientacji galaktyk w gromadzie wzrasta przy tym wraz z liczebnością gromady. Niestety, obecne dane obserwacyjne nie są wystarczające do określenia dokładnej postaci tej zależności. Prezentowane w pracy wyniki wskazują, że stopień uporządkowania galaktyk w gromadzie nie zależy od ich typów morfologicznych. Jedyne ewentualne różnice występują dla przypadku gromad typu BM II-III.

	BM I, BM II	BM I-II, BM II-III	BM I, BM III	BM II, BM II-III	BM I, BM II-III	BMI, BM I-II
Members	35,59	53,53	35,47	59,53	35,53	35,53
Test						
χ^2	-0.104	-0.519	0.026	-1.000	-0.753	-0.182
χ_c^2	-0.162	-1.212	0.384	-0.488	-0.537	0.583
$\Delta/\sigma(\Delta)$	0.623	-1.677	-0.231	-1.995	-0.362	0.342
$\Delta/\sigma(\Delta)$	1.421	-1.319	0.386	-2.374	-0.598	0.131
$\Delta c/\sigma(\Delta c)$	-0.106	-1.405	0.305	0.516	0.296	-0.306
C	0.805	-1.478	0.487	-1.733	0.223	0.443
C_c	-0.802	-1.134	-1.678	-1.385	0.168	-1.181
λ	1.143	-1.519	-0.179	-1.800	-0.173	0.792
λ_c	-0.476	-1.558	-0.269	-1.419	-1.627	-0.411
$\Delta 11/\sigma(\Delta 11)$	-2.256	-0.036	0.082	-0.271	-0.253	-0.630
$ \Delta 11/\sigma(\Delta 11) $	-0.369	-1.494	-0.445	-0.124	-1.381	-0.224

Analiza prac, dotycząca konsekwencji dostępnego materiału obserwacyjnego w różnych skalach (Godłowski 2011a), na obecnym etapie pozwala na stwierdzenie, że dla takich struktur, jak pary i zwarte grupy galaktyk, jest ewidencja wskazująca na występowanie niezerowego momentu pędu. Dla grup i gromad galaktyk nie mamy ewidencji świadczącej, iż obiekty te rotują. Co więcej, Hwang i Lee (2007) w klasycznej już pracy (2007 *Astroph. J.* 662, 236), badając dyspersję i gradient prędkości w 899 gromadach Abell'a znaleźli, że tylko 6 z nich wykazuje możliwą rotację. Stąd ewentualny niezerowy moment pędu grup i gromad galaktyk będzie pochodził głównie z ewentualnego uporządkowania spinów galaktyk. Dla grup i ubogich gromad galaktyk

nie ma ewidencji, że występuje uporządkowanie orientacji. Analiza bogatych gromad galaktyk i supergromad pokazuje, że orientacja galaktyk jest w nich nielosowa. Z kolei z pomiarów krzywych rotacji wiemy, że galaktyki mają własny moment pędu. Tym samym możemy stwierdzić, że takie struktury mają całkowity niezerowy moment pędu. Przytoczone fakty sugerują, że teorie, które wiążą momenty pędu galaktyk z otaczającymi je strukturami, są faworyzowane przez dane obserwacyjne. W świetle teorii formowania galaktyk ten rezultat można interpretować jako efekt oddziaływania sił pływowych. Ale jest on również zgodny z modelem Li (1998), w którym galaktyki formują się w rotującym wszechświecie. Niniejszy projekt, rozszerzający bazę obserwacyjną, pozwoli na znalezienie dodatkowych przesłanek świadczących o prawdziwości któregoś ze scenariuszy. Istotny dla weryfikacji scenariuszy będzie zarówno zespół wyników istotnych statystycznie, jak i brak takiej istotności dla części rezultatów.

Wyniki badań dotyczących formowania gromad galaktyk w Lokalnej Supergromadzie (Godłowski, Flin 2010) wskazują, że na początku formują się dwie najbardziej masywne galaktyki na włóknie („filamencie”) materii skierowanym w kierunku centrum Supergromady, czyli w kierunku Gromady Panny. Zaobserwowane korelacje sugerują, że dwie najjaśniejsze galaktyki formują się na włóknie materii skierowanej na centrum protostruktury. Następnie galaktyki tworzą się wokół tych dwóch galaktyk zgodnie ze scenariuszem hierarchicznego grupowania. Gromady tworzą się na tak samo lub podobnie zorientowanych włóknach. Te wyniki są zgodne z wynikami symulacji numerycznych otrzymanych w modelu Λ CDM, w którym struktury formują się w wyniku hierarchicznego grupowania. Należy zaznaczyć, iż wyniki pracy Godłowski i Flin (2010), dotyczącej orientacji grup galaktyk, mają znaczenie dla interpretacji faktu, iż w pracy Godłowski i inni (2010) oraz Godłowski (2012) analiza nie wykazała jakiegoś globalnego kierunku uporządkowania orientacji galaktyk. Można to wyjaśnić albo jako wpływ efektów środowiskowych albo jako wpływ efektów wielkoskalowych orientacji gromad galaktyk. Planowane w niniejszym projekcie badanie wzajemnej orientacji gromad oraz zależności uporządkowania orientacji galaktyk od przynależności lub nieprzynależności gromady do supergromad pozwoli na rozstrzygnięcie tej kwestii. Dodatkowo projekt pozwoli odpowiedzieć, czy znaleziony w pracach Godłowski i in (2005), Godłowski i in. (2010) oraz Godłowski (2011a) rezultat, iż stopień uporządkowania orientacji galaktyk w bogatych gromadach Abell’a zależy od ich liczebności, jest również prawdziwy również dla mniej liczebnych gromad.

Metody używane do wyznaczenia orientacji galaktyk mogą też być łatwo przeniesione do badania problemu orientacji struktur galaktyk, takich jak grupy i gromady galaktyk, jak również do badania relacji między orientacjami gromad a orientacją poszczególnych ich członków (Godłowski i Flin (2010)). Analogicznie będziemy badać relacje między orientacjami gromad a wyróżnionymi kierunkami, takimi jak kierunek na centrum Supergromady albo kie-

runek linii łączącej dwie najjaśniejsze galaktyki w gromadzie. Możliwe jest też badanie efektu Binggeli'ego, czyli zależności między położeniami dużych osi gromad galaktyk, a kierunkami na ich sąsiadów (Binggeli 1982). W przypadku badania tego ostatniego efektu szczególnie przydatny jest test Kołmogorowa-Smirnowa i metoda regresji liniowej.

Literatura

- Abell G., Corwin H., Olowin R., 1989, *ApJSS* 70, 1
Binggeli B., 1982, *AA* 107, 338
Cochran W.G., Cox G.M., 1957, *Experimental designs* (2nd 4.), New York, John Wiley and Sons
Flin P., Biernacka M., Godłowski W., Panko E., Piwowarska P., 2011, *Baltic Astronomy* 20, 251
Flin P., Godłowski W., 1986, *MNRAS* 222, 525
Godłowski W., 1993, *MNRAS* 265, 874
Godłowski W., 1994, *MNRAS* 271, 19
Godłowski W., 2011a, *International Journal of Modern Physics D* 20, 1643
Godłowski W., 2011b, *Acta Physica Polonica B* 42, 2323
Godłowski W., 2012, *ApJ* 747, 7
Godłowski W., Flin P., 2010, *ApJ* 708, 920
Godłowski W., Ostrowski M., 1999, *MNRAS* 303, 50
Godłowski W., Piwowarska, P., Panko E., Flin, P., 2010, *ApJ* 723, 985
Godłowski W., Pajowska P., Popiela J., 2015, *CKA2016* s.223
Godłowski W., Stephanovich V., Pajowska P., Popiela J., 2016, *CKA2017* s.125
Godłowski W., Szydłowski M., Flin P., 2005, *Gen. Rel. Grav.* 37, (3) 615
Hwang H.S., Lee M.G., 2007, *ApJ* 662, 236
James F., 1994, *Comput. Phys. Commun.* 79, 111
Krysicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M., 1998, *Rachunek Prawdopodobieństwa i Statystyka Matematyczna w Zadaniach II*, Warszawa PWN)
Li Li-Xin., 1998, *Gen. Rel. Grav.* 30, 497
Luescher M., 1994, *Comput. Phys. Commun.* 79, 100
Luescher M., 2010, <http://luscher.web.cern.ch/luscher/ranlux/>
Panko E., Flin P., 2006, *Journal Astron. Data* 12, 1
Satterthwaite F., E., 1946, *Biometrics Bulletin* 2, 1 10-1 14
Stephanovich V. A., Godłowski W., 2015, *ApJ* 810, 167
Stephanovich V. A., Godłowski W., 2017, *Research in Astron. and Astrophys.* 17(12), 119
Toutenburg H., 1995, *Experimental Design and Model Choice: The Planning and Analysis of Experiments with Continuous or Categorical Response*, Springer Verlag
Ungruhe R., Saiter W.C., Durbeck H.W., 2003, *Journal Astronomical Data* 9, 1



Migawki z tras wycieczkowych dla uczestników IX konferencji młodych *Astrophisica Nova*. Od góry: Pomnik Marcina Kromera w Bieczu, zalew na rzece Ropie w Klimkówce, skansen w Szymbarku.

Wyznaczanie funkcji świecenia gromad galaktyk na podstawie próbki 6188 gromad

Joanna Popiela¹, Włodzimierz Godłowski^{1,4}, Monika Biernacka²,
Katarzyna Bajan⁴, Elena Panko³, Paulina Pajowska¹, Piotr Flin²

¹ Instytut Fizyki Uniwersytetu Opolskiego

² Instytut Fizyki Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach

³ Wydział Fizyki Teoretycznej i Astronomii Uniwersytetu Narodowego w Odessie

⁴ Stowarzyszenie Astronomia Nova

Streszczenie

Celem naszego projektu jest badanie funkcji świecenia dla gromad galaktyk. W przeciwieństwie do badania funkcji świecenia dla poszczególnych obiektów pozagalaktycznych, takich jak galaktyki optyczne czy radiogalaktyki, problem ten nie doczekał się dotąd szczegółowych badań, głównie z powodu braku odpowiedniego materiału obserwacyjnego. Nasze badania pokazały, że funkcja świecenia dla gromad galaktyk jest istotnie różna od funkcji świecenia zarówno dla galaktyk optycznych jak i dla radiogalaktyk. W pracy niniejszej dyskutujemy prawdopodobne przyczyny tego faktu, jak również jego znaczenie dla badań nad tworzeniem się wielkoskalowych struktur we Wszechświecie.

Wstęp

W rozmaitych badaniach astronomicznych i astrofizycznych często pojawia się problem policzenia jak kształtują się, dla różnych obiektów astronomicznych, proporcje obiektów o różnych jasnościach. Interesuje nas tutaj jak wygląda rozkład jasności absolutnych („prawdziwych”) obiektów astronomicznych, w szczególności galaktyk. Ten rozkład właśnie nazywamy funkcją świecenia.

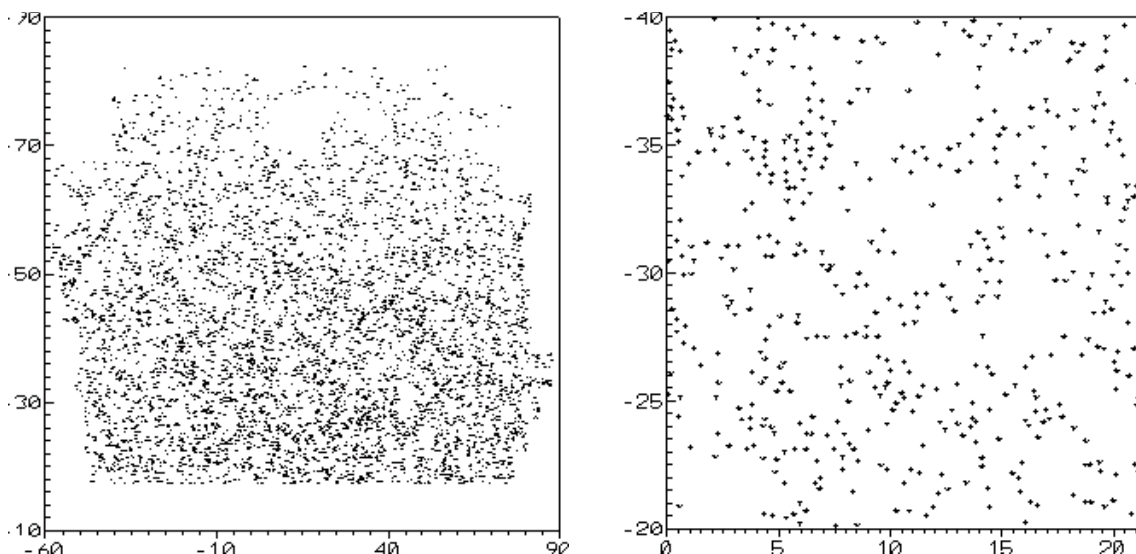
Problem ten pojawia się zarówno w badaniach nad indywidualnymi własnościami galaktyk, jak i nad ich rozkładami. Przykładowo, funkcja świecenia jest ważna z punktu widzenia badań nad wielkoskalową strukturą Wszechświata (Lin i Kirshner 1996). W szczególności dokładna znajomość funkcji świecenia jest istotna w trakcie wyznaczania funkcji autokorelacji dla galaktyk. Dzieje się tak dlatego, iż funkcja autokorelacji wnosi zazwyczaj poprawki do procesu wyznaczania funkcji świecenia, a z kolei znajomość funkcji świecenia wnosi zarówno poprawki przy wyznaczaniu funkcji zmiany gęstości galaktyk z odległością jak i jest wprost niezbędna do wyznaczania projekcyjnej funkcji autokorelacji. Problem ten był szczegółowo dyskutowany w naszej poprzedniej pracy (Popiela i Godłowski 2014). W pracy tej pokazano również, że badanie funkcji świecenia struktur wielkoskalowych może być istotnym narzędziem weryfikowania scenariuszy formowania galaktyk i ich struktur.

Funkcja świecenia dla galaktyk jest znana i jest opisywana funkcją Schechtera. Funkcja świecenia dla radiogalaktyk ma kształt bardziej skomplikowanej

funkcji Saundersa. (Saunders i in. 1990, Machalski i Godłowski 2000). W niniejszej pracy zajmujemy się wyznaczeniem funkcji świecenia dla gromad galaktyk, który nie był zazwyczaj dotychczas przedmiotem badań, głównie z powodu braku wystarczającego materiału obserwacyjnego. Jednym z nielicznych wyjątków jest praca autorów De Filippis i in. (2011), którzy analizując próbkę galaktyk z Northern Sky Optical Cluster Survey (Gal i in. 2009), znaleźli że funkcja świecenia dla tych obiektów jest funkcją Schechtera. Głównym wynikiem naszej pracy jest to, że otrzymana funkcja świecenia dla gromad galaktyk jest istotnie różna od tej, którą otrzymujemy dla indywidualnych obiektów – zarówno galaktyk optycznych, jak i radiogalaktyk. Wynik ten jest istotnie różny od otrzymanego w pracy De Filippis i in. (2011).

Dane obserwacyjne

Naszym podstawowym materiałem obserwacyjnym jest katalog gromad galaktyk zwany katalogiem PF (Panko i Flin, 2006). Jest on wynikiem zastosowania metody *mozaiki Voronoy'a* (Ramella i in. 1999, 2001) do katalogu około 5.5 miliona galaktyk, położonych na obszarze prawie 5000 stopni kwadratowych na południowej półkuli, tzw. Muenster Red Sky Survey (Ungerhe i in. 2003) (Rys 1.). Podaje on współrzędne, eliptyczności, pola powierzchni, kąty pozycyjne oraz jasności w wyniku przeskanowania 217 klisz ESO. Aby zostać uznana za strukturę i wejść do katalogu PF struktura winna mieć przynajmniej 10 galaktyk. Zastosowanie techniki *mozaiki Voronoy'a* pozwoliło na znalezienie 6188 struktur, zawierających, po uwzględnieniu galaktyk tła, przynajmniej 10 obiektów. Do tego momentu prace postępowały automatycznie. Następnie, osobno wyznaczano dla każdej struktury jej kształt, tzn. eliptyczność i kąt pozycyjny dużej osi.

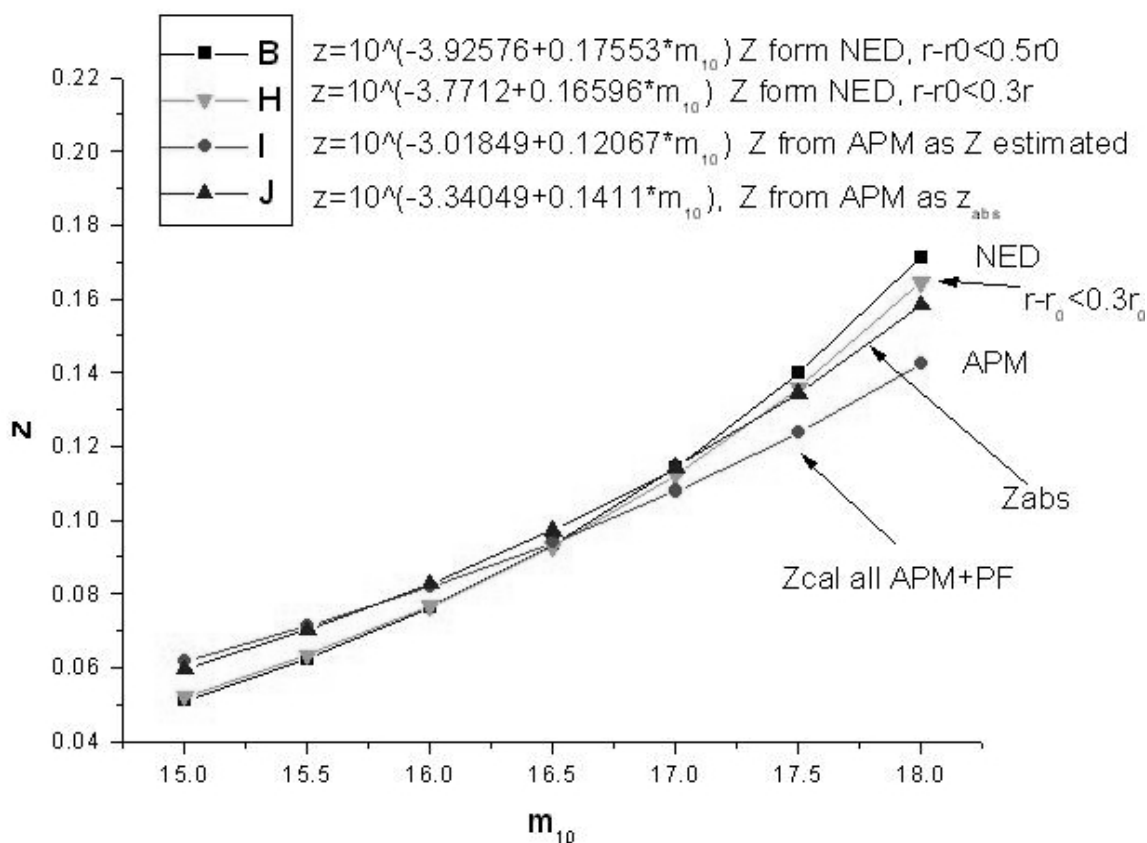


Rys 1. Katalog gromad galaktyk PF(z lewej) i jego powiększony fragment (z prawej).

Ponadto oceniono odległości do gromad galaktyk, wykorzystując zależność postaci: $\log z_{est} = a + b \times m_{10}$ (Rys. 2). Oznacza to, iż odległości gromad są

szacowane na podstawie jasności dziesiątej galaktyki w gromadzie. Porównano struktury z katalogu PF ze strukturami ACO (Abel, Corwin i Olowin 1989). Z NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) wzięto dla ACO prędkości radialne. Ponadto porównano gromady katalogu PF z gromadami APM (Dalton i in. 1997). Ostatecznie przyjęto szukaną zależność jako: $\log z_{est} = -3.771 + 0.1660 \times m_{10}$, co pozwoliło przypisać prędkości radialne wszystkim strukturom. Katalog Muenster Red Sky Survey jest kompletny do jasności $m=18.3^m$, co odpowiada przesunięciom ku czerwieni z_{est} rzędu 0.12.

Analizując statystycznie jednorodny materiał różnych gromad galaktyk znaleziono (Flin i in. 2011), że rozkład eliptyczności rzutowanych na sferę niebieską struktur zależy od liczebności struktury. Oznacza to, że struktury mało liczne i bogate, powstawały w odmienny sposób. Ponadto znaleziono, że stopień uporządkowania orientacji galaktyk w gromadzie (ang. alignment) wzrasta z jej liczebnością. Ponadto znaleziono, że stopień uporządkowania orientacji galaktyk zależy od przynależności (lub nie) gromad galaktyk do supergromad. (Godłowski i in. 2010, 2011, Flin i in. 2011).



Rys 2. Ocena odległości gromad w katalogu PF (Panko i Flin 2006).

Należy zwrócić uwagę, iż katalog PF jest to pierwszy tak liczny katalog gromad galaktyk, który wyselekcjonowano metodą teselacji Voronia. W katalogu tym również możemy przyjąć z dużą dozą prawdopodobieństwa, że nie występują tzw. „śmiec” (sygnały zakłócające, które obrazują fałszywy obraz nieistniejących obiektów w kosmosie) co oznacza, że każdy obiekt w katalogu

jest galaktyką. Jest tak, dlatego iż taką dokładną analizę realności katalogowych obiektów przeprowadzono w czasie przygotowywania bazowego (dla katalogu PF) katalogu Muenster Red Sky Survey (Ungruhe i in. 2003).

W naszej dalszej analizie funkcji świecenia rozzważano tylko galaktyki z przedziału jasności $m_3, m_3 + 3m$, gdzie m_3 jest trzecią najjaśniejszą galaktyką w strukturze. Uczyniono tak, ponieważ kryterium $m_3, m_3 + 3m$ jest powszechnie uznanym kryterium uznania przynależności galaktyk do gromady w sytuacji, gdy nie znamy (jak w naszym przypadku) prędkości radialnych galaktyk. Jasności obserwowane gromad galaktyk obliczono sumując jasności wszystkich galaktyk w gromadzie spełniających kryterium $m_3, m_3 + 3m$. Ponieważ mamy oszacowaną odległość gromady (z jasności 10-tej galaktyki w gromadzie) to możemy teraz oszacować jasność absolutną gromady.

Badanie funkcji świecenia

Nateżenie oświetlenia promieniowaniem gwiazdy podlega bezpośrednim pomiarom z użyciem fotometrów. W praktyce astronomicznej dla określenia jasności gwiazdy używa się jednostki tradycyjnej, zwanej *wielkością gwiazdową*. Obiektowi świecącemu o określonej jasności obserwowanej I_0 przyporządkowano umownie wielkość gwiazdową $m = 0$. Wielkość gwiazdową m (widomą) jakiejś gwiazdy o jasności I określa się wzorem:

$$m = -2.5 \log(I/I_0)$$

Oznacza to, że wielkość gwiazdowa m jest z definicji bezwymiarową i nie zależy od użytych jednostek dla określenia jasności I . Powyższy wzór można zapisać też jako:

$$m = -2.5 \log I + 2.5 \log I_0$$

gdzie wartość $I_0 = 2.398 \cdot 10^{-6}$ Lx przyjęto umownie tak, aby zdefiniowana skala wielkości gwiazdowych najlepiej zgadzała się ze skalą stosowaną w czasach historycznych. Z powyższych wzorów wynika, iż możemy teraz zapisać różnicę między dwoma wielkościami gwiazdowymi jako:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log (I_1/I_2) = 2.5 \log (I_2/I_1)$$

Oznacza to że można teraz wyznaczyć całkowitą jasność gromady I_{tot} sumując wszystkie jasności poszczególnych galaktyk składowych i następnie przeliczyć tą jasność I_{tot} i sumaryczną wielkość gwiazdową gromady m_{tot} .

Oczywiście, z naszego punktu widzenia znacznie bardziej interesujące są nie jasności czy wielkości gwiazdowe obserwowane, ale jasności „rzeczywiste” wyskalowane w identycznej skali. Takimi wielkościami są absolutne wielkości gwiazdowe M . Absolutną wielkością gwiazdową M nazywamy wielkość gwiazdową m , którą miałby obiekt, gdyby był odległy o 10 pc (parseków).

$M = m - 5 \log D + K(z) + 5$, gdy odległość mierzymy w parsekach lub

$M = m - 5 \log D + K(z) - 25$, gdy odległość mierzymy w megaparsekach,

a poprawka K wyraża się wzorem:

$$K(z) = 2.5 \log (1+z)$$

Powyższe wzory oznaczają, że możemy również wyliczyć absolutną wielkość gwiazdową gromady.

Jeżeli chcemy zbadać, jak wygląda rozkład ilości obiektów o różnych jasnościach emisyjnych, to oczywiście nie można po prostu zrobić histogramu obiektów o różnych jasnościach obserwowanych, ponieważ znajdują się one w różnych odległościach, co powoduje, iż obiekt, który nam się wydaje być bardzo słaby może być naprawdę bardzo jasny i tylko znajdować się bardzo daleko. Nie można też po prostu wyliczyć jasności absolutnej obiektów i zrobić ich prostej statystyki. Dzieje się tak, dlatego że praktycznie każdy katalog jest limitowany jasnościowo. Tym samym obiekty słabe (o małych absolutnych jasnościach) będą widziane tylko wtedy, gdy są położone blisko nas, podczas gdy obiekty jasne (o dużych jasnościach absolutnych) będą widoczne nawet jeśli są daleko. Dlatego też, jeśli weźmiemy prosty histogram występowania obiektów o różnych jasnościach absolutnych to otrzymamy nadreprezentację obiektów jasnych w porównaniu ze słabymi.

Istnieją różne sposoby rozwiązania tego problemu. Najbardziej popularne polegają albo na przypisaniu każdemu obiektowi odpowiedniej wagi albo na policzeniu prawdopodobieństwa zaobserwowania danego obiektu w katalogu, a następnie wyliczenia funkcji świecenia metodą największej wiarygodności.

Pierwsza metoda, omówiona na przykład w pracy Condon (1989), polega na przypisaniu każdemu obiektowi wagi związanej z gęstością jego występowania. Polega to na tym, że jeżeli w limitowanym jasnościowo katalogu mamy obiekt znajdujący się w odległości z o obserwowanej wielkości gwiazdowej m , to można łatwo obliczyć jego absolutną wielkość gwiazdową M (albo jasność absolutną L). Wobec tego możemy obliczyć maksymalną odległość (redshift) z_{max} , w której dany obiekt mógłby się znajdować by jeszcze być widocznym w naszym katalogu. Znając tą odległość, z_{max} , możemy wyliczyć odpowiadającą jej objętość V_{max} , w której może się znajdować dany obiekt, aby był widoczny w naszym katalogu. Odwrotność tej objętości $1/V_{max}$, którą można nazwać „gęstością występowania danego obiektu”, jest, w najprostszym przypadku, właśnie wagą, z którą liczymy dany obiekt. Funkcja gęstości prawdopodobieństwa, iż obiekt i będzie miał jasność absolutną L_m , będzie dana wzorem:

$$p(L_m) = \sum_m 1/V_{m,max} / \sum_m 1/V_{i,max}$$

gdzie sumowanie po i przebiega po wszystkich obiektach w próbie, podczas gdy sumowanie po m dotyczy tylko obiektów o jasności L_m .

Oczywiście dokładna relacja między obserwowanym przesunięciem ku czerwieni (redshiftem), odległością, jasnością obserwowaną i objętością zależy od modelu kosmologicznego. Jednakże, gdy jak w naszym przypadku, maksymalne przesunięcia ku czerwieni z_{est} są mniejsze od 0.2, to różnice między przewidywaniami poszczególnych modeli kosmologicznych nie są duże i możemy się posługiwać klasycznym modelem Einsteina-de Sittera (model

pyłowy z parametrem hamowania $q=0.5$). Możemy więc, do wyznaczenia relacji między odległością jasnościową a przesunięciem ku czerwieni, używać wzorów Mattiga w najprostszej postaci $d_L=2c(1+z - (1+z)^{0.5})/H_0$, co bardzo ułatwia obliczenia.

Drugą metodą jest metoda SWLM (Efstathiou i in. 1988, Lin i in. 1996). W tej metodzie rozważamy obiekt astronomiczny (np. galaktykę) obserwowany na redshifcie z_i w limitowanym jasnościowo katalogu. Jeśli teraz $\phi(M)$ jest różniczkową funkcją świecenia, to prawdopodobieństwo p_i , że dany obiekt ma absolutną wielkość gwiazdową M jest dane wzorem:

$$p_i \equiv p(M_i | z_i) = \phi(M_i) / \int_{M_{min}(z_i)}^{M_{max}(z_i)} \phi(m) dM$$

Gdzie M_{min} i M_{max} oznaczają minimalną i maksymalną absolutną wielkość gwiazdową, którą musi mieć nasz obiekt astronomiczny znajdujący się na redshifcie z_i aby znaleźć się w naszym limitowanym jasnościowo katalogu. Tym samym funkcja największej wiarygodności jest dana wzorem:

$$L = p(M_1 \dots M_i | p_1 \dots p_i) = \prod p_i$$

Oczywiście najlepszą funkcją świecenia jest funkcja, która maksymalizuje funkcję największej wiarygodności. Można ją znaleźć numerycznie, szukając maksimum funkcji największej wiarygodności.

Wyniki obserwacyjne

Funkcja świecenia dla galaktyk optycznych jak i dla radiogalaktyk była wyznaczana wielokrotnie, w przeciwieństwie do funkcji świecenia dla gromad galaktyk. Wobec tego w naszej pracy postanowiliśmy wyznaczyć funkcję świecenia dla gromad galaktyk. Badaliśmy funkcję świecenia dla 6188 gromad galaktyk z katalogu PF (Panko i Flin 2006). Osobno analizujemy gromady galaktyk (516) o jasności trzeciej galaktyki w gromadzie $m_3 < 15.3$. Postąpiono tak dlatego, iż katalog MRSS, i w konsekwencji katalog PF, są limitowane do wielkości 18.3^m . Przyjęcie więc kryterium 15.3 gwarantuje, że wszystkie galaktyki należące do gromady i mające jasności obserwowane w przedziale $m_3, m_3 + 3m$ znajdują się w katalogu. Taka próbka gromad powinna więc być kompletna i jednorodna. Pierwszym krokiem w naszych badaniach było wyznaczenie histogramu jasności absolutnych dla naszych gromad (Rys. 2). Często zakłada się, iż trzecie pod względem jasności galaktyki w gromadzie mają tę samą jasność absolutną. Gdyby to założenie było dokładnie spełnione, to z powodu wspomnianej wyżej kompletności i jednorodności próbki, już histogram gromad o $m_3 < 15.3$ dawałby nam szukaną funkcję świecenia (Rys. 2 po prawej). Funkcję świecenia dla galaktyk można opisać funkcją Schechtera:

$$n(x) dx = \phi^* x^a e^{-x} dx,$$

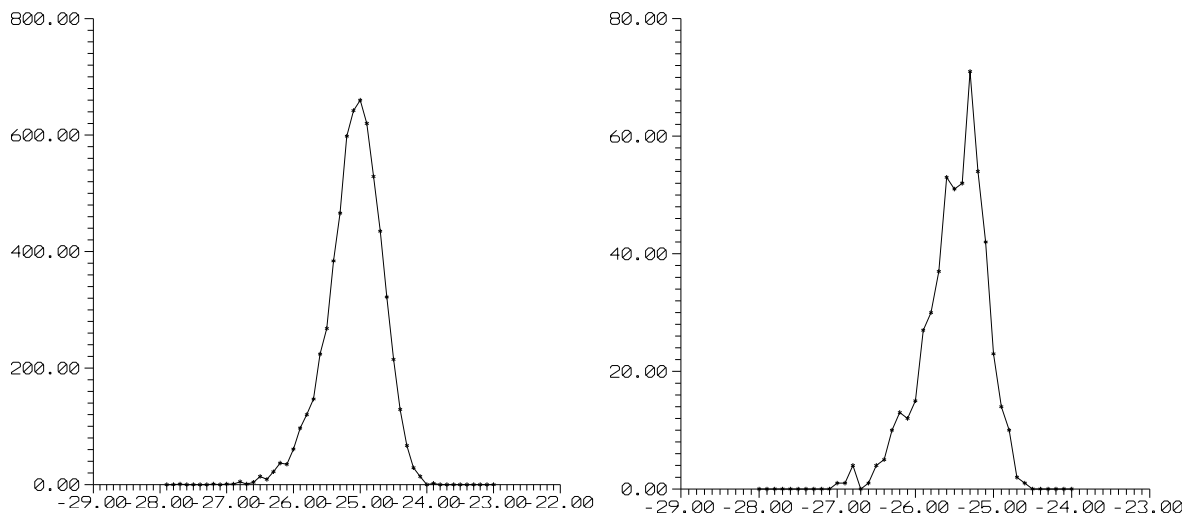
(np. Schechter 1976, Eftathiou i in 1988, Lin i in 1996). Funkcja świecenia dla radiogalaktyk trochę się od niej różni i jest opisywana jej modyfikacją, tzw. funkcją Saundersa (Saunders 1990, Machalski i Godłowski 2000). Funkcja świecenia opisywana funkcją Schechtera:

$$\phi(M) = (0.4 \ln 10) \phi^* [10^{0.4(M^*-M)1+\alpha} \exp[-10^{0.4(M^*-M)}]]$$

albo odpowiednio

$$\phi(L) = \phi^* (L/L^*)^\alpha \exp(L/L^*) (1/L^*)$$

w zależności od tego czy rozważamy jasności, czy odpowiadające im absolutne wielkości gwiazdowe. Jak widać, funkcja Schechtera jest więc faktycznie funkcją Gamma. Typowe wartości współczynnika α dla galaktyk optycznych zawierają się między -1 a -0.5 . Dla radiogalaktyk, jeśli chcielibyśmy dla nich dopasowywać funkcję Schechtera, są one nawet mniejsze (co wymaga przedłużenia analitycznego funkcji gamma). Analityczną postać funkcji świecenia można dopasować do danych obserwacyjnych, na przykład nieliniową metodą najmniejszych kwadratów. Jednak w przypadku funkcji Schechtera, Eftathiou i in. (1998) podali analityczną procedurę umożliwiającą dopasowanie parametrów funkcji Schechtera na podstawie jasności poszczególnych obiektów astronomicznych, należących do analizowanej próbki (metoda EREP).



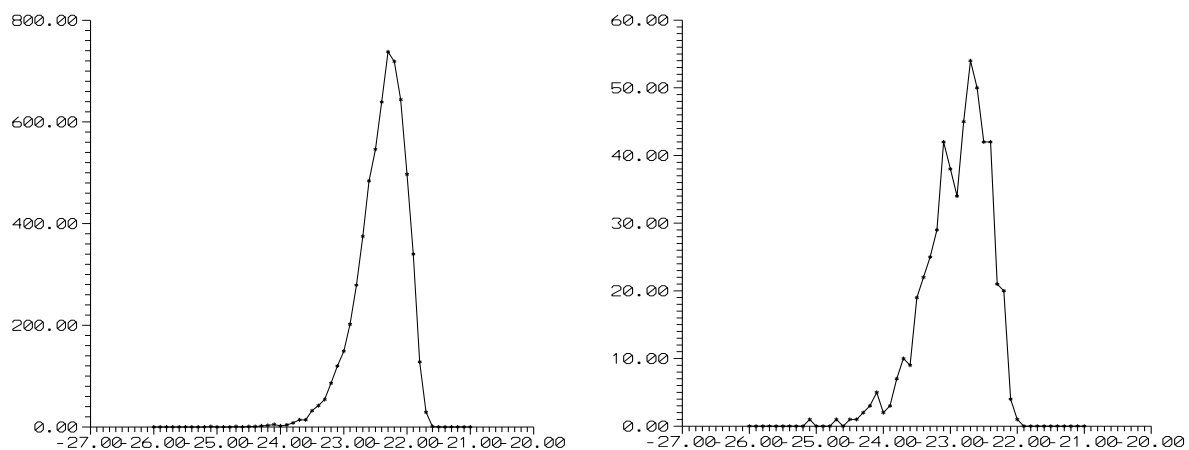
Rys 3. Histogram ilości gromad o poszczególnych absolutnych wielkościach gwiazdowych dla całej próbki gromad (z lewej) i w przypadku, gdy jasność trzeciej galaktyki w gromadzie $m_3 < 15.3$ (z prawej).

W wyniku formalnego dopasowania danych z rys. 3, dla funkcji Schechtera otrzymujemy wartości $M^* = -23.152$ i $\alpha = 4.26$ w przypadku całej próbki (lewy rysunek) oraz $M^* = -23.483$ i $\alpha = 4.7$ w przypadku jednorodnej próbki z $m_3 < 15.3$ (prawy rysunek). Jak widać otrzymana w ten sposób funkcja świe-

cenia dla gromad galaktyk (prawy rysunek) bardzo różni się zarówno od funkcji świecenia dla galaktyk optycznych jak i dla radiogalaktyk. Otrzymana funkcja świecenia jest bardzo „wypikowana” w porównaniu do funkcji dla galaktyk i radiogalaktyk i przypomina raczej funkcję Gaussa.

Należy zwrócić uwagę, że założenie, iż trzecie pod względem jasności galaktyki w gromadzie mają tę samą jasność absolutną, choć często stosowane w badaniach pozagalaktycznych, nie jest dokładnie spełnione. Na Rys.4 przedstawiono histogramy dla absolutnych wielkości gwiazdowych dla trzech najjaśniejszych galaktyk w gromadzie. Odległości do gromad zostały przy tym wyznaczone z jasności 10-tej galaktyki w gromadzie, jak opisano w rozdziale *Dane Obserwacyjne*. Jak łatwo zauważyć, różnice w absolutnych wielkościach gwiazdowych są dość duże i przewyższają dwie wielkości gwiazdowe, co oznacza, że nie możemy traktować założenia, iż trzecie pod względem jasności galaktyki w gromadzie mają tę samą jasność absolutną, za wystarczające.

W tej sytuacji konieczne są dalsze badania. Posłużymy się w nich metodą Condon, przypisując każdej gromadzie wagę wynikającą z odwrotności objętości $1/V_{max}$, w której może się znajdować dana gromada, aby mogła się znaleźć w naszym katalogu. Oznacza to, że wagami są odwrotności objętości wynikające z z_{max} dla 3-ciej galaktyki w gromadzie. W tym przypadku wartości współczynnika α są nawet większe niż w przypadku poprzednim i sięgają wartości około 10. Jak można zauważyć na Rys. 4, rozkłady są jeszcze bardziej „wypikowane” i jeszcze bardziej przypominają rozkład Gaussa.

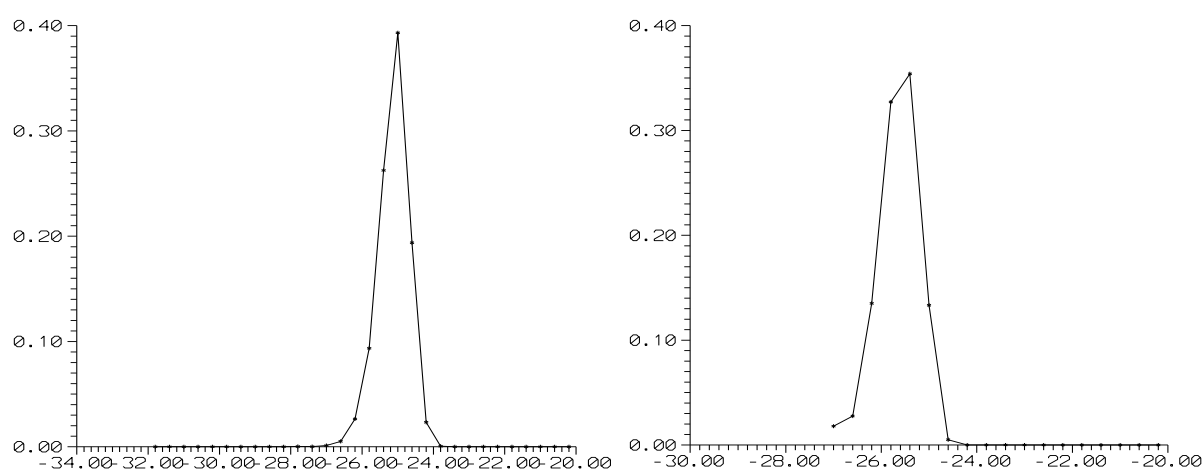


Rys. 4. Histogram absolutnych wielkości gwiazdowych dla trzech najjaśniejszych galaktyk w gromadzie dla całej próbki gromad (z lewej) i w przypadku, gdy jasność trzeciej galaktyki w gromadzie $m_3 < 15.3$ (z prawej).

Nasz wynik jednoznacznie pokazuje, że funkcja świecenia dla gromad galaktyk jest istotnie różna od funkcji świecenia dla galaktyk optycznych lub radiogalaktyk, opisywanych odpowiednio funkcjami Schechtera i Saundersa.

Przyczyny tego stanu rzeczy mogą być następujące. Po pierwsze, funkcja świecenia dla gromad galaktyk może mieć faktycznie postać taką, jak przed-

stawiono na rysunku 5. Na potwierdzenie tej hipotezy można przedstawić następujące argumenty. Należy zwrócić uwagę, że jasność gromady, która jest sumą jasności wszystkich jej członków, jest zazwyczaj zdominowana przez najjaśniejsze galaktyki w gromadzie. Szczególnie istotne jest to dla struktur o małej liczebności. Najjaśniejsze galaktyki w gromadzie powstają zazwyczaj w wyniku procesu zlewania się galaktyk (ang. merger), więc można się spodziewać, że ich charakterystyka powinna być inna, niż pozostałych galaktyk w gromadzie. Faktycznie, w pracy Wen i Han (2015) (rysunek 5) pokazano, iż funkcja świecenia dla najjaśniejszych galaktyk (w przeciwieństwie do pozostałych galaktyk) jest opisywana funkcją zbliżoną do funkcji Gaussa. Podana wyżej argumentacja może wyjaśniać, dlaczego funkcja jasności analizowanych gromad (które w większości są mało liczne) również jest zbliżona do funkcji Gaussa. Po drugie, przyczyną może być sama definicja gromady (Abell 1958, Zwicky i in. 1961). Żeby struktura była uznana za gromadę musi mieć podwyższoną gęstość w stosunku do otaczającego ją otoczenia i liczyć odpowiednią ilość członków. W naszym przypadku jest to co najmniej 10 galaktyk w zakresie jasności ($m_3, m_3 + 3m$). Tym samym, z samej definicji wynika, że gromada nie może być dowolnie mało jasna i dlatego przy wyznaczeniu funkcji jasności gromad należy oczekiwać odstępstwa od klasycznej funkcji Schechtera.



Rys 5. Gęstość prawdopodobieństwa dla funkcji świecenia gromady dla całej próbki gromad (z lewej) i w przypadku, gdy jasność trzeciej galaktyki w gromadzie $m_3 < 15.3$ (z prawej).

Jednakże przed wyciągnięciem ostatecznych konkluzji konieczne będzie wykonanie dodatkowych badań i testów. Jedną z kwestii, które zamierzamy przebadać w przyszłych pracach jest wpływ wyznaczania odległości gromad z jasności dziesiątej najjaśniejszej galaktyki w gromadzie, a nie z przesunięć ku czerwieni. Niestety problemem będzie to, że tylko dla ok. 400 z gromad z katalogu PF mamy wyznaczone prędkości radialne, co spowoduje znaczne zawężenie rozpatrywanej próbki.

Konkluzje

W przeciwieństwie do funkcji świecenia dla galaktyk optycznych czy radiogalaktyk problem wyznaczenia funkcji świecenia dla gromad galaktyk nie cieszył się dotąd popularnością, głównie ze względu na brak odpowiedniego materiału obserwacyjnego. Posiadane przez nas dane obserwacyjne umożliwiają nam przebadanie tego problemu. W naszej pracy badaliśmy funkcję świecenia dla próbki 6188 gromad galaktyk pochodzących z katalogu PF (Panko i Flin 2006). Nasze wstępne wyniki pokazują, iż funkcja świecenia dla gromad galaktyk jest istotnie różna od funkcji świecenia dla galaktyk optycznych czy radiogalaktyk i jest opisywana raczej zwykłą funkcją Gaussa niż funkcją Schechtera lub Saundersa. Prawdopodobną przyczyną tego jest fakt, iż po pierwsze funkcja świecenia gromad galaktyk zdominowana jest przez najjaśniejsze galaktyki w gromadzie, które powstają głównie w procesie zlewania galaktyk i mają inną charakterystykę fizyczną niż pozostałe galaktyki w gromadzie, a po drugie to, że z samej definicji gromady wynika, że struktura by być zakwalifikowana jako gromada musi zawierać odpowiednią liczbę wystarczająco jasnych galaktyk i tym samym nie może być dowolnie słaba. Wynik ten może mieć duże znaczenie dla testowania scenariuszy formowania wielkoskalowych struktur we Wszechświecie, ponieważ zdaje się świadczyć o tym, iż za formowanie się galaktyk odpowiada inny mechanizm niż za formowanie gromad galaktyk.

Nasz wynik jest też istotny z punktu widzenia badania grupowania wielkoskalowych struktur we Wszechświecie. Wiemy, że galaktyki, jak również radiogalaktyki, mają tendencję do grupowania. Otwarte natomiast pozostaje pytanie, jak wygląda kwestia grupowania gromad galaktyk. Do studiowania przestrzennych korelacji położenia gromad galaktyk i wyznaczenia ich funkcji autokorelacji, niezbędna jest właśnie znajomość funkcji świecenia dla gromad galaktyk, którą wyznaczamy w naszych badaniach.

W przyszłych pracach planujemy rozszerzyć nasze badania o metodę SWLM opartą o wyznaczenie funkcji świecenia na podstawie funkcji największej wiarygodności. Planujemy również szczegółowe przebadanie możliwych efektów selekcyjnych i systematycznych.

Podziękowania

W trakcie badań nad danymi obserwacyjnymi pochodzącymi z katalogu PF używano również NASA/IPAC Extragalactic Database (NED), jak również NASA Astrophysics Data System (ADS).

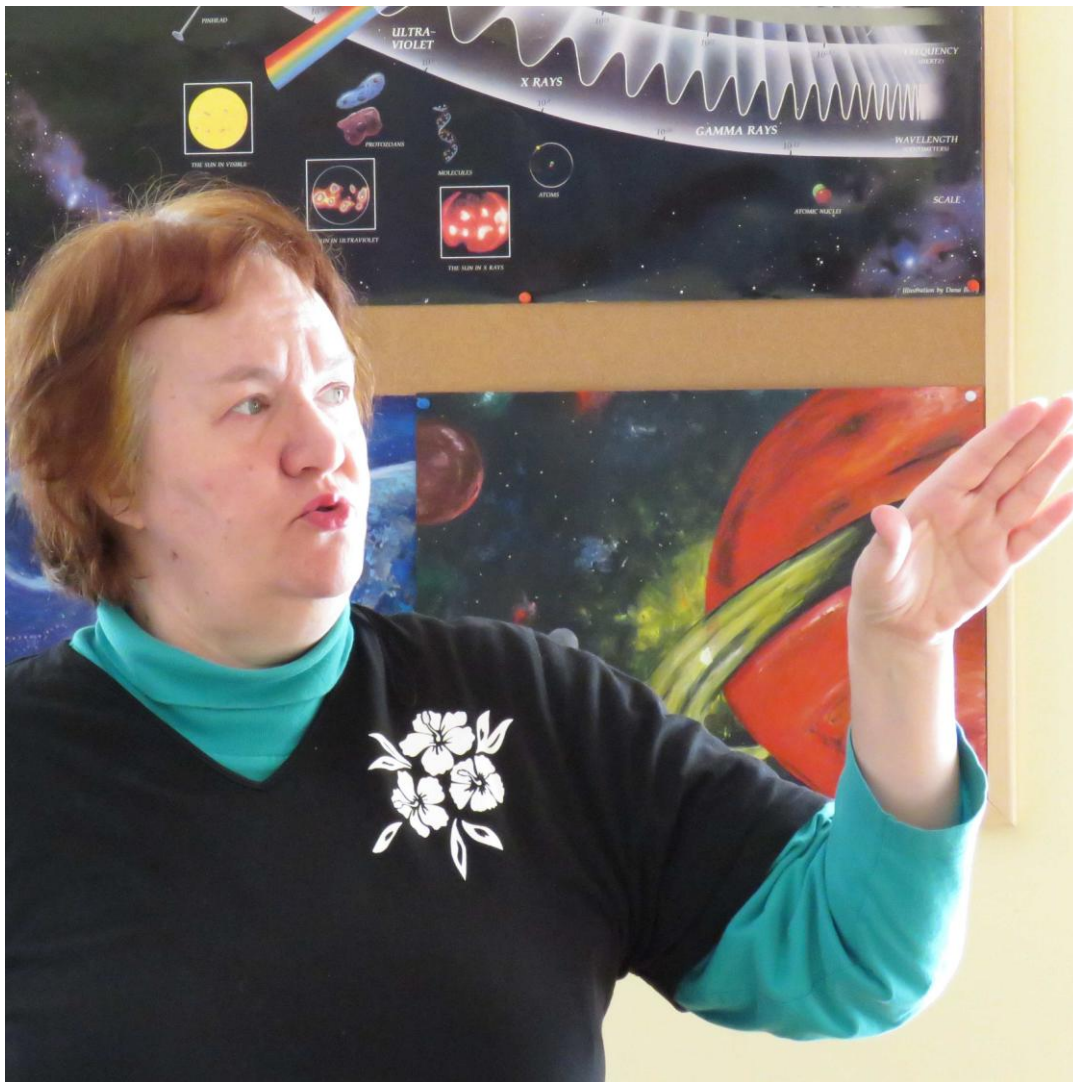
Bibliografia

- Abell G. O., 1958, ApJSS 3, 211
- Abell G., Corwin H., Olowin R. 1989, ApJSS 70, 1
- Condon J. J., 1989, ApJ 338, 13
- Dalton G. B., Maddox S. J., Sutherland W. J., Efstathion G., 1997, MNRAS 289,263

De Filippis E. i in., 2011, MNRAS 414, 2771
Efstathiou G., Ellis R. S., Peterson B. A., 1988, MNRAS 232, 431
Flin P., Biernacka M., Godłowski W., Panko E., Piwowska P., 2011,
Baltic Astronomy 20, 251
Gal R. R. i in., 2009, AJ 137, 2981
Godłowski W., Piwowska P., Panko E., Flin P., 2010, ApJ 723, 985
Lin H. i in., 1996, ApJ 464, 60
Machalski J., Godłowski W., 2000, AA 360, 463
Panko E., Flin P., 2006, Journal Astron. Data 12, 1
Popiela J., Godłowski W., 2013, CKA2014 s. 277
Ramella M., Boschini W., Fadda D., Nonino M., 2001, AA 368, 776
Ramella M., Nonino M., Boschini W., Fadda D., 1999, ASP Conf. Ser. 176, Observational
Cosmology: The Development of Galaxy Systems, (ed. G. Giuricin, M. Mezzetti,
P. Salucci) (San Francisco: ASP) s.108
Saunders W., Rowan-Robinson M., Lawrence A., i in., 1990, MNRAS 242, 318
Schechter P., 1976, ApJ 203, 297
Ungerer R., Saiter W. C., Durbeck H. W., 2003, Journal Astronomical Data 9, 1
Zwicky F., Herzog E., Wild P., Karpowicz M., Kowal C., 1961–1968, Catalogue
of Galaxies and Clusters of Galaxies, CalTech, Pasadena
Wen Z. L., Han, J. L., 2015, MNRAS 448, 2



Ivan L. Andronow i Włodzimierz Godłowski w OAKJ
podczas IX konferencji młodych *Astrophisica Nova*.



Larisa S. Kudashkina i Ivan L. Andronov – proszeni wykładowcy z Odessy na IX konferencję młodych *Astrophisica Nova*.

Atlas of the Light Curves and Phase Plane Portraits of Selected Long-Period Variables

Larisa S. Kudashkina, Ivan L. Andronov

Department of Mathematics, Physics and Astronomy, Odessa National Maritime University
(publikacja dostępna też na stronie: <http://arxiv.org/abs/1711.09029>)

Abstract

For a group of the Mira-type stars, semi-regular variables and some RV Tau-type stars the limit cycles were computed and plotted using the phase plane diagrams. As generalized coordinates x and \dot{x} , we have used m – the brightness of the star and its phase derivative.

We have used mean phase light curves using observations of various authors from the databases of AAVSO, AFOEV, VSOLJ, ASAS and approximated using a trigonometric polynomial of statistically optimal degree. As generalized coordinates x and \dot{x} , we have used m – the brightness of the star and its phase derivative.

For a simple sine-like light curve, the limit cycle is a simple ellipse. In a case of more complicated light curve, in which harmonics are statistically significant, the limit cycle has deviations from the ellipse.

In an addition to a classical analysis, we use the error estimates of the smoothing function and its derivative to constrain an “error corridor” in the phase plane.

Keywords: Variable stars – Pulsating variables – individual: o Cet, S Scl, RR Aql, U Cyg, V Cyg, BG Cyg, AM Cyg, R Leo, Y CVn, RV Tau, EP Lyr, R Sge, DF Cyg.

The pulsations of long-period variable stars – Mira-type, semi-regular variables RVab and one SRb star – are studied. This work is the continuation of a cycle of the works on the study of the photometric properties of the mean light curves of the long-period variables. The studied stars are located on the HR-diagram in the AGB (Mira-type and SR) and RGB (RVab) areas.

Earlier, for example, in the work (Kudashkina & Marsakova, 2013) for Mira-type stars R Aql, R Hya and T UMi, the time of the change of pulse period has been estimated “to zero” at the time of compression of the layers of the star due to the termination of helium burning in the layered source. Also the radius was estimated, from which begins the compression, for a range of stellar masses 0.9-1.5 M_{\odot} .

On the asymptotic giant branch (AGB), the star consists of a degenerate carbon-oxygen core and two layer sources (helium and hydrogen), positioned very close to each other. Above them is an extended hydrogen envelope.

The small thickness of the layered sources cause thermal flashes. Here, the stars are divided into two stages: early (EAGB) is the time interval between

the end of helium burning in the core and the first thermal pulse of the helium layer source, and "thermally pulsing regime of the He-burning shell" (TPAGB) is the thermally pulsed combustion mode in the helium layer. At the stage of a TPAGB the star is getting brighter in M_{bol} . Some theoretical calculations show that, for example, zirconium stars over a range of luminosity and temperature correspond to the early stages of AGB when helium burning occurs stationary. At the same time, several observational features say, rather, in favor of finding these stars in more advanced evolutionary stage on the AGB (Kudashkina, 2003).

The different studies show that long-period variables pulsate in a fundamental mode and in the first overtone. The latter is especially for semiregular variables, but a significant part of the Mira-type stars are the overtone pulsators (Fadeev, 1993).

Indirect dependence of the pulsation properties from surface luminosity is also seen in the various photometric dependencies. For example, in the article Kudashkina (2015), the three-dimensional diagram of the photometric parameters: the period, the amplitude of light, the slope of the ascending branch of the light curve are obtained.

The most significant correlation shows the dependence of the slope of the ascending branch of the period and amplitude.

This study is the next step in the study of the photometric parameters of long-period variables – Mira-type stars and the semi-regular and relative objects – which can be used as an additional criterion the classification of these stars to the EAGB and TPAGB stages. The presented method is supplementary to that used for our studies and listed by Andronov et al. (2016).

It is known that the mode of oscillation corresponds to a periodic limit cycle, i.e. a closed phase trajectory to strive for all of the close trajectory over time. We calculated limit cycles for 8 long-period variables and 5 stars of RV Tau-type, based on the mean light curves, averaged over a long period of time. As generalized coordinates of the phase plane are taken m – brightness of the star and its phase derivative. That is, the curve of evolution of the brightness of the star in the phase space is $m(\varphi)$.

For approximation of the phase curve, we have used trigonometric polynomials

$$m(\varphi) = C_1 + \sum_{j=1}^M (C_{2j} \cos(j\varphi) + C_{2j+1} \sin(j\varphi))$$

moreover, the optimal value of the degree M is determined by the Fisher test with a critical probability of "false alarm" (FAP=False Alarm Probability) 10^{-3} . The phase derivative in radians calculated simple

$$\dot{m}(\varphi) = \sum_{j=1}^M j \cdot (-C_{2j} \sin(j\varphi) + C_{2j+1} \cos(j\varphi))$$

That is, upon differentiation, the amplitude of the harmonic is multiplied by j . Usually, this leads to a greater increase in the relative statistical error of the derivative compared to the signal.

Phase portraits of the stars made using an improved version of the program FDCN (Andronov, 1994) and are shown in Fig. 1-28 together with the approximations of their light curves.

Theoretically, for sinusoidal oscillations, the phase portrait is an ellipse with different units of measurement on axes – magnitude and magnitude "the radian" or "the period". Deviations from the ellipse expected for non-sinusoidal waves, i.e. if the degree of the trigonometric polynomial $M > 1$. The calculation is performed in the cycle phase, the results for m, \mathcal{M} are displayed with "3 σ " corridors of errors on both coordinates. Naturally, the extreme points on each coordinate line "corridors of errors" for the other coordinate converge to a point like the letter \mathcal{K} . Therefore, as the corridor of errors, use external part of the corridors of the errors for the two variables.

For the semiregular variable RV Tau limit cycle is almost a perfect ellipse, but for the value equals the half-period. For Mira-type stars, with more regular oscillations, but a complex form of the light curve, limit cycles deviate strongly from the ellipse. Other RV-type, Mira-type and semi-regular stars U Mon, X CrB, U UMi, X Oph, R Aql, U Her, S Ori, S Car, S Per, W Hya, L₂ Pup were investigated (Kudashkina & Andronov, 2017) and were also.

The list of stars and the basic data are given in table 1.

Table 1. The list of stars and its basic data.

N	Star	Type	Period, d
1	o Cet	M	333.6
2	S Scl	M	367
3	RR Aql	M	390.78
4	U Cyg	M	465.49
5	V Cyg	M	421.27
6	BG Cyg	M	288.1
7	AM Cyg	M	371.9
8	R Leo	M	312
9	Y CVn	SRb	267
10	RV Tau	RV	78.73
11	EP Lyr	RV	82.95
12	R Sge	RV	71.57
13	DF Cyg	RV	776.4

For o Cet, S Scl and RR Aql, the periods have been determined using the Whitlock's H and K observations (Kudashkina, 2016). For Y CVn, the period has been updated by Kudashkina & Andronov (2010). For the rest of the star the values of the periods also have been updated (Kudashkina et al., 2013).

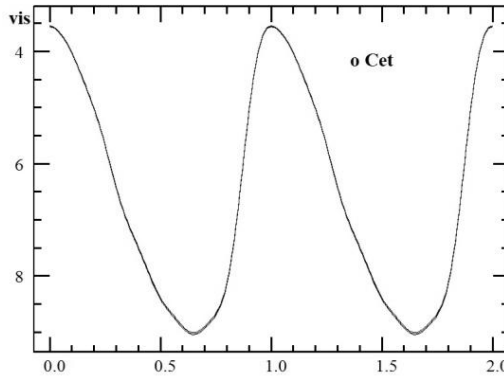


Fig. 1. The mean light curve of o Cet.

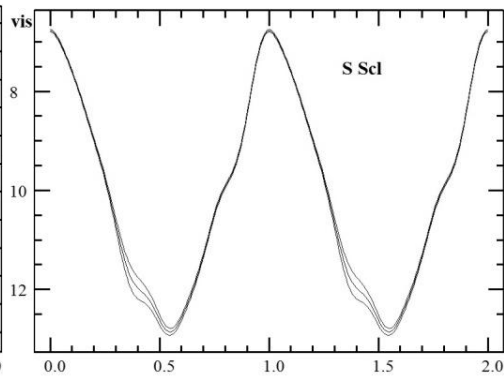


Fig. 2. The mean light curve of S Scl.

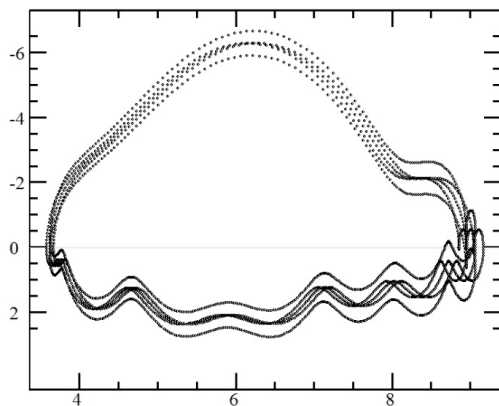


Fig. 3. Phase portrait of o Cet.

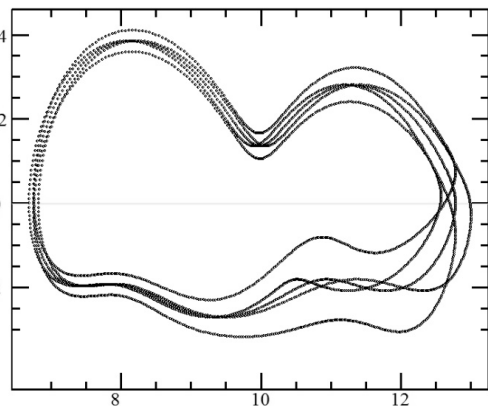


Fig. 4. Phase portrait of S Scl.

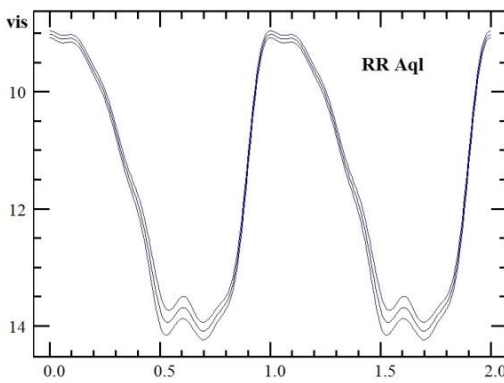


Fig. 5. The mean light curve of RR Aql.

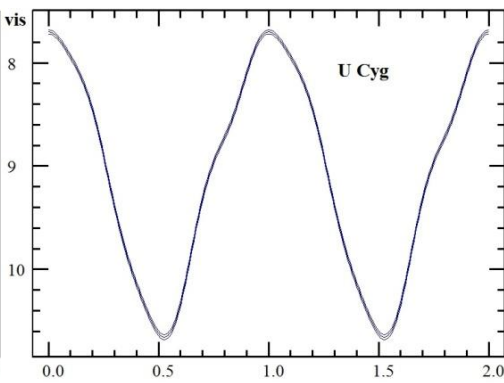


Fig. 6. The mean light curve of U Cyg.

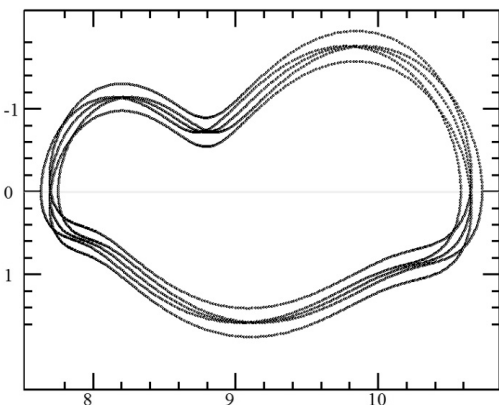


Fig. 7. Phase portrait of RR Aql.

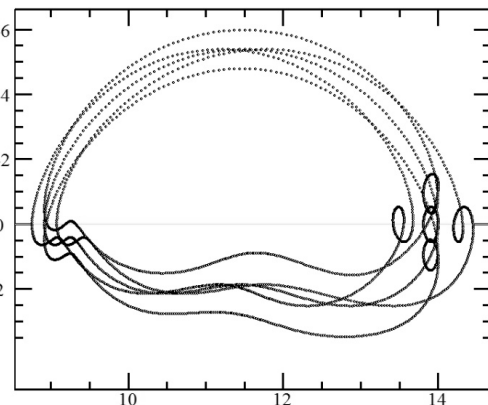


Fig. 8. Phase portrait of U Cyg.

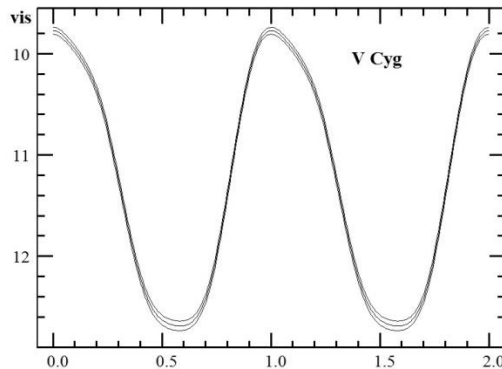


Fig. 9. The mean light curve of V Cyg.

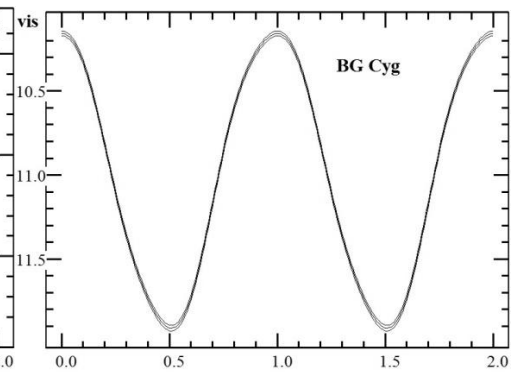


Fig. 10. The mean light curve of BG Cyg.

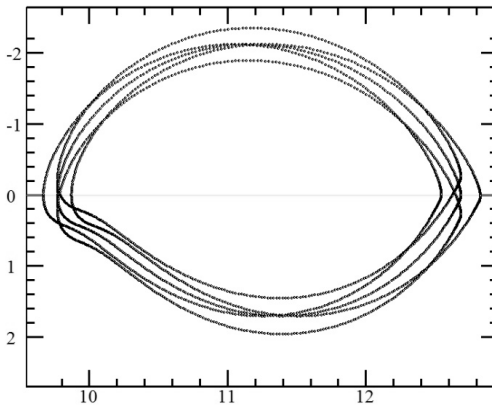


Fig. 11. Phase portrait of V Cyg.

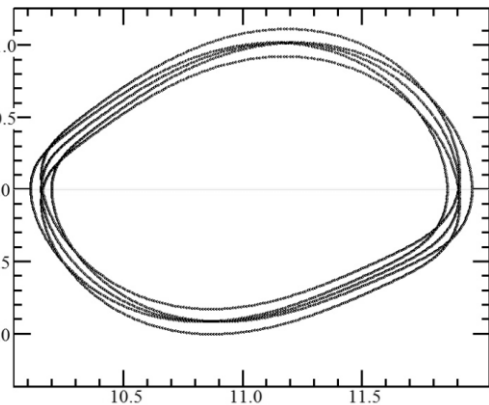


Fig. 12. Phase portrait of BG Cyg.

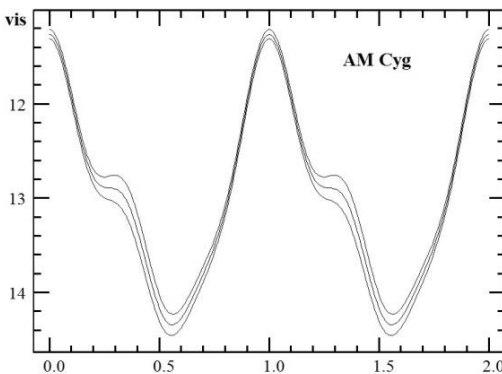


Fig. 13. The mean light curve of AM Cyg.

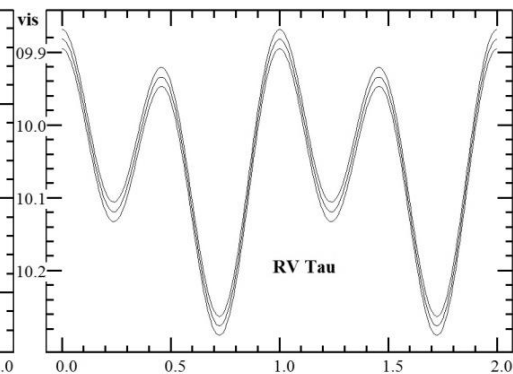


Fig. 14. The mean light curve of RV Tau.

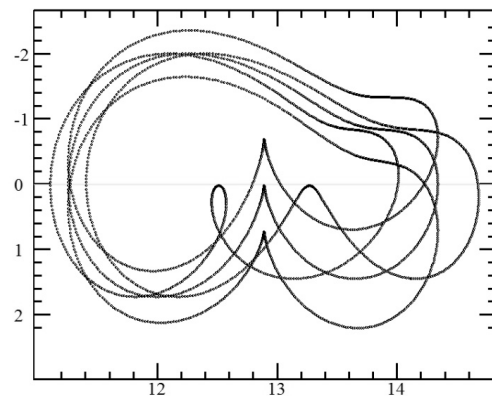


Fig. 15. Phase portrait of AM Cyg.

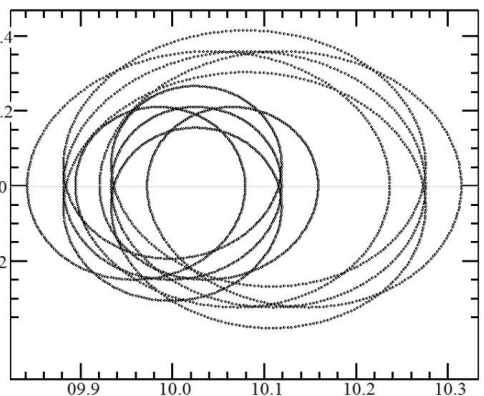


Fig. 16. Phase portrait of RV Tau.

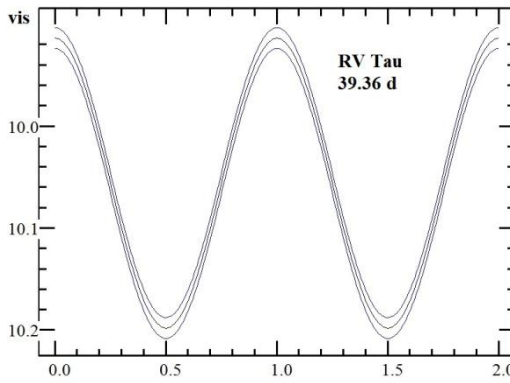


Fig. 17. The mean light curve of RV Tau with a half-period.

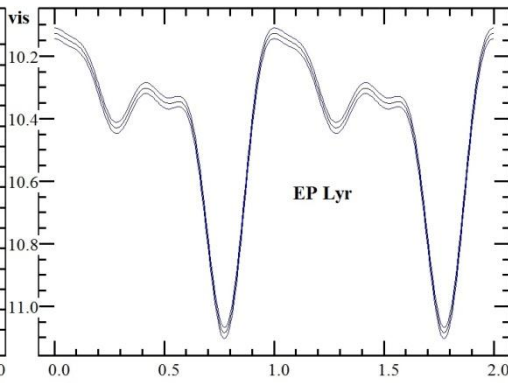


Fig. 18. The mean light curve of EP Lyr.

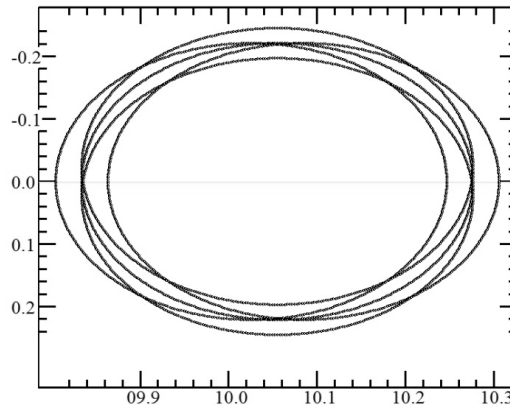


Fig. 19. Phase portrait of RV Tau with a half-period.

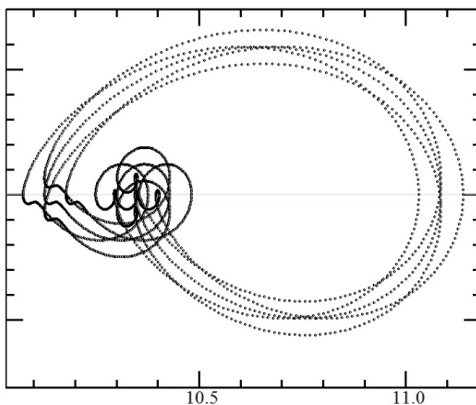


Fig. 20. Phase portrait of EP Lyr.

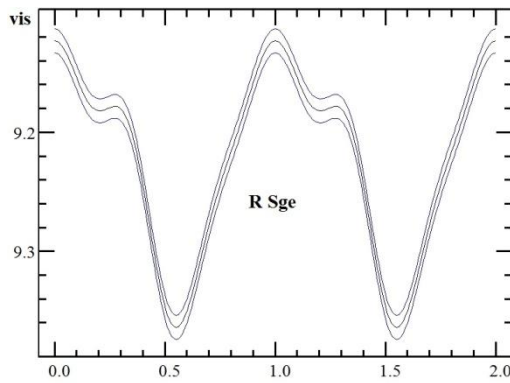


Fig. 21. The mean light curve of R Sge.

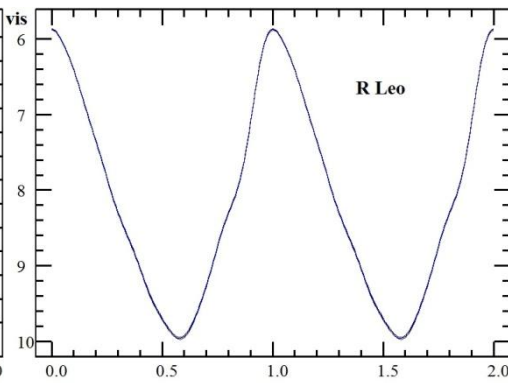


Fig. 22. The mean light curve of R Leo.

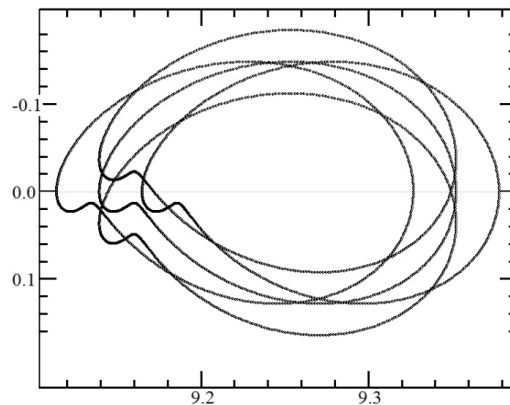


Fig. 23. Phase portrait of R Sge.

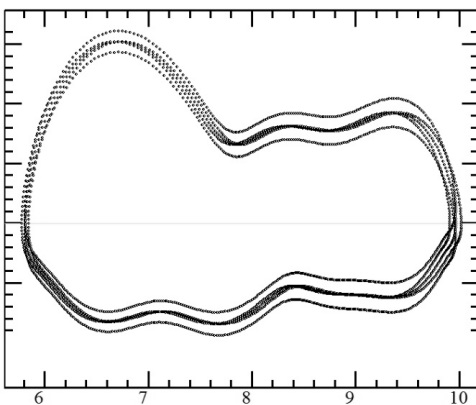


Fig. 24. Phase portrait of R Leo.

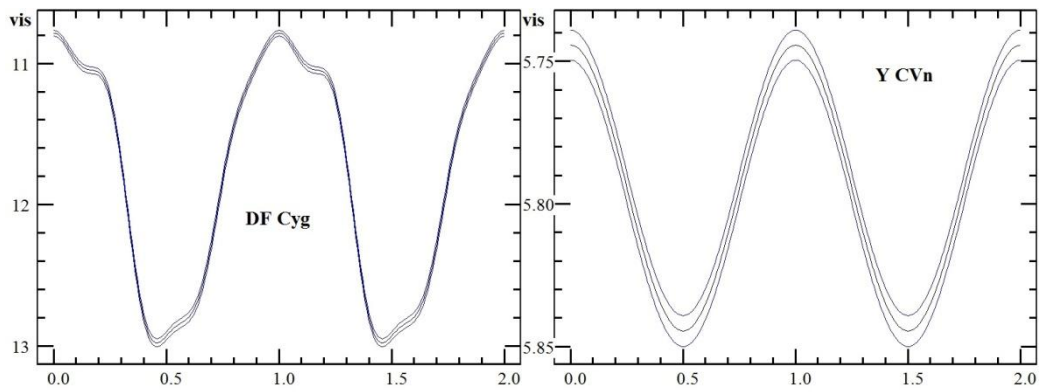


Fig. 25. The mean light curve of DF Cyg. Fig. 26. The mean light curve of Y CVn.

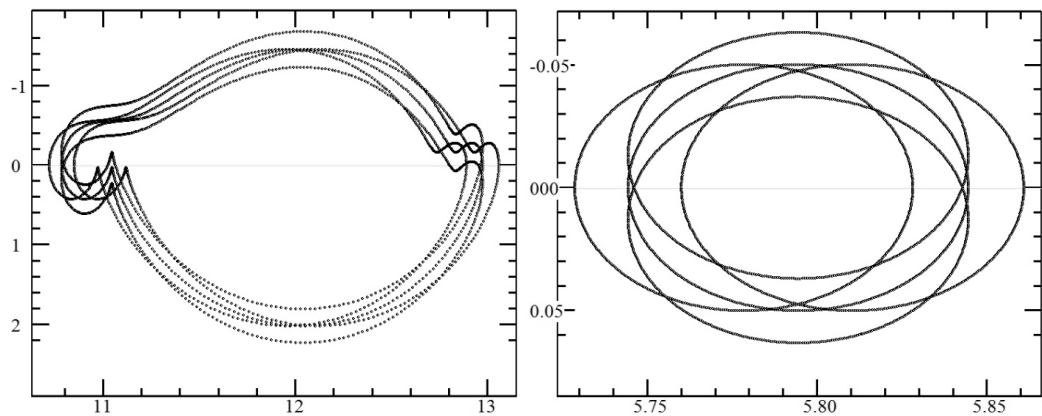


Fig. 27. Phase portrait of DF Cyg.

Fig. 28. Phase portrait of Y CVn.

One may note that the two-humped light curve of RV Tau phenomenologically resembles that of β Lyrae. Generally, this method may be effectively applied to eclipsing binaries of various subtypes (see Tkachenko et al. 2016 for phenomenological modeling of prototype stars).

Further analysis is planned for a more extended sample of stars, including that included in the current "Atlas..."

These studies were carried out within the "Stellar Bell" part of the international campaign "Inter-Longitude Astronomy" (Andronov et al., 2003, 2014, 2017) and "Astroinformatics" (Vavilova et al., 2017).

References

- Andronov I. L., 1994, OAP, 7, 49
 Andronov I. L. et al., 2003, Astron. Astroph. Trans., 22, 793
 Andronov I. L., Chinarova L. L., Kudashkina L. S., Marsakova V. I., Tkachenko M. G., 2016, ASPC 505, 101
 Andronov I. L., Marsakova V. I., Kudashkina L. S., Chinarova L. L., 2014, AASP 4, 3
 Andronov I. L. et al., 2017, ASPC 511, 43
 Fadeyev Yu. A., 1993, Astrophys. Space Sci. 210, 261
 Kudashkina L. S., 2003, KFNT 19, 193
 Kudashkina L. S., Andronov I. L., 2010, OAP 23, 67
 Kudashkina L. S., Andronov I. L., Grenishena L.V., 2013, CKA2013, 197
 (astronomianova.org/publikacije/cka13.pdf)

Kudashkina L. S., 2015, CKA2016, p. 265 (astronomianova.org/publikacje/cka16.pdf)
Kudashkina L. S., 2016, CKA2017, p. 151 (astronomianova.org/publikacje/cka17.pdf)
Kudashkina L. S., Andronov I. L., 2017, OAP, 30, <http://arxiv.org/abs/1711.02133>
Kudashkina L. S., Marsakova V. I., 2013, CKA2014, p. 243
(astronomianova.org/publikacje/cka14.pdf)
Tkachenko M. G., Andronov I. L., Chinarova L. L., 2016, Journal of Physical Studies
20, 4902
Vavilova et al., 2017, Proc. IAU 12, S325, 361,
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017IAUS..325..361V>



Agnieszka Kuźmicz

Populacje gwiazdowe gigantycznych radioźródeł

Agnieszka Kuźmicz^{1,2,3}

¹Centrum Fizyki Teoretycznej, PAN, Warszawa

²Obserwatorium Astronomiczne Królowej Jadwigi, Rzepiennik Biskupi

³Stowarzyszenie Astronomia Nova

Abstrakt

Przeprowadzone badania mają na celu znalezienie przyczyny powstawania gigantycznych radiogalaktyk, które przekraczają swoim rozmiarem 0.72 Mpc. Na podstawie obecnie zbadanych hipotez, tj. dużego wieku gigantów, niższej gęstości ośrodka, w którym ewoluują giganty, specyficznych własności centralnego aktywnego jądra oraz procesu wznawiania aktywności radiowej, nie uzyskano jak dotąd jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, co powoduje, że tylko niewielka ilość radioźródeł ma tak duże rozmiary. W przeprowadzonych przeze mnie badaniach sprawdzona została nowa hipoteza, mówiąca, że na rozmiary struktur radiowych może mieć wpływ historia formowania się galaktyki macierzystej radioźródła. W zależności od tego, w jaki sposób ten proces przebiegał, mogły powstać pewne specyficzne warunki, pozwalające na powstanie wielkoskalowych struktur radiowych. Dla wyselekcjonowanej próbki gigantów oraz galaktyk z ich najbliższego otoczenia przeprowadzona została analiza składu populacji gwiazdowych tworzących galaktykę. Otrzymane wyniki zostały porównane z analogicznymi wynikami dla mniejszych radiogalaktyk.

Wstęp

Aktywne jądra galaktyk (AGNy) są jednymi z najbardziej energetycznych obiektów we Wszechświecie. Są obserwowane w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego – od promieniowania w dziedzinie radiowej do zakresu promieniowania gamma. Szczególną klasą AGNów są radioźródła, które stanowią około 10% całej ich liczby. Radioźródła są bardzo zróżnicowane pod względem morfologii jak i rozmiarów struktur radiowych. Mogą być bardzo zwarte, o rozmiarach rzędu kiloparseka, lub też bardzo rozciągle – rzędu megaparseków. Największe radioźródła (o rozmiarach przekraczających 0.72 Mpc – przy założeniu parametrów kosmologicznych $H_0=71$ km/s/Mpc, $\Omega_M=0.27$, $\Omega_\Lambda=0.73$) nazywane są gigantycznymi radioźródłami. Są one największymi pojedynczymi obiektami we Wszechświecie, a ich rozmiary są porównywane z rozmiarami gromad galaktyk. Stanowią one bardzo mały procent (<1%) wszystkich radiogalaktyk. Obecnie znanych jest około 340 gigantów, z czego 8% jest stowarzyszonych z kwazarami, jednak cały czas odkrywane są nowe obiekty tego typu. Aktualnie największym znanym radioźródłem jest J1420-0545 o rozmiarze $D=4.69$ Mpc (Machalski i in. 2008).

W dalszym ciągu nie wiadomo dlaczego bardzo mała część wszystkich radioźródeł może osiągnąć tak duże rozmiary. Przyczyny powstawania gigantycznych radioźródeł są, jak dotąd, nie do końca poznane i wyjaśnione. Przypuszcza się, że mogą to być bardzo stare radioźródła, które zdążyły wyewoluować do tak dużych rozmiarów. Wyniki badań wieków gigantycznych radioźródeł (n.p. Kuligowska i in. 2009, Machalski, Jamrozy i Saikia 2009) potwierdzają, że są one stare, jednak obserwuje się inne, równie stare, radioźródła, które nie są gigantami. Tak więc wiek nie jest jedynym czynnikiem, który jednoznacznie odpowiada za powstawanie wielkoskalowych struktur radiowych. Rozważa się również hipotezę mówiącą o tym, że giganty ewoluują w rzadkim ośrodku, przez co rozchodzące się w nim dżety radiowe mogą bez większych oporów propagować się na duże odległości od galaktyki macierzystej (n.p. Machalski i Jamrozy 2006, Subrahmanyan i in.. 2008). Ta hipoteza nie jest jednak wystarczająca, by wytłumaczyć istnienie wszystkich gigantów, gdyż obserwuje się również giganty na dużych przesunięciach ku czerwieni ($z \sim 2$), gdzie gęstość otaczającego je ośrodka jest większa. Pokazano również, że własności centralnych aktywnych jąder gigantów (takie jak masa czarnej dziury, tempo akrecji) nie różnią się od własności AGNów w mniejszych radioźródłach (Kuźmicz i Jamrozy 2012). Powtarzające się cykle aktywności radiowej również są proponowane, jako jedna z możliwych przyczyn powstawania gigantów (n.p. Machalski i in.. 2011, Schoenmakers i in. 2000), jednak nie dają one jednoznacznych wyników. Problem powstawania gigantów pozostaje zatem wciąż otwarty.

Zrozumienie procesów odpowiedzialnych za ewolucję galaktyk jest jednym z wyzwania astronomii współczesnej. Dzięki coraz większym możliwościom obserwacyjnym możemy dokładniej badać zarówno bliskie, jak i bardzo odległe galaktyki. Według dotychczasowej wiedzy, formowanie się oraz ewolucja galaktyk jest wynikiem złożonej kombinacji hierarchicznego grupowania się galaktyk, dyssypacji gazu, zlewania się i oddziaływania galaktyk pomiędzy sobą oraz wewnętrznych procesów zachodzących w galaktyce – takich jak np. historia formowania się gwiazd (de La Rosa i in. 2007, 2005). Powszechnie uważa się, że radiogalaktyki są stowarzyszone z masywnymi galaktykami eliptycznymi, znajdującymi się głównie w środku grupy galaktyk. Zarówno procesy akrecji, jak i procesy gwiazdotwórcze w tego typu galaktykach nie są obecnie efektywne, a same galaktyki znajdują się w bardziej gęstych regionach ośrodka międzygalaktycznego.

Na podstawie dotychczasowych badań pokazano, że aktywność galaktyk może regulować procesy gwiazdotwórcze, lub też procesy te mogą pełnić ważną rolę w zasilaniu centralnego aktywnego jądra. Jednakże procesy fizyczne, odpowiedzialne za tą koewolucję, w dalszym ciągu nie zostały wyjaśnione. Cid Fernandes i in. 2004 oraz Sarzi i in. 2007 sugerowali, że w galaktykach o młodych populacjach gwiazdowych częściej mamy do czynienia z aktywnością jąder galaktycznych, aczkolwiek procesy gwiazdotwórcze mogą być przerwane bądź zahamowane poprzez wpływy energii uwalnianej

podczas procesów akrecji na czarną dziurę (n.p. Di Matteo, Springel i Hernquist 2005). Pokazano również, że tempo formowania się gwiazd w galaktykach zależy od otaczającego galaktykę ośrodka, ale w małych skalach – rzędu 1Mpc (np. Kauffmann i in. 2004). Według Blantona i Berlinda 2007 oraz Wilamna i in. 2010, ma to uzasadnienie we własnościach halo ciemnej materii w grupie/gromadzie galaktyk.

Kolejnym aspektem ewolucji radiogalaktyk jest zrozumienie, w jaki sposób radioźródła są powiązane z ośrodkiem, w którym ewoluują. Zarówno procesy oddziaływania dżetów radiowych na ośrodek międzygalaktyczny (w przypadku gigantów ośrodek gromad/grup galaktyk), jak również wpływ ośrodka na ewolucję radioźródła oraz jego galaktyki macierzystej, są obecnie szeroko badane.

W pracy Croston i in. 2009 pokazano, że rozchodzące się dżety radiowe zaburzają ośrodek w gromadach galaktyk. Na uwagę zasługują również prace prowadzone przez Chen i in. 2011a,b, Chen i in. 2012a,b. Autorzy badali własności ośrodka gromad/grup galaktyk wokół paru gigantycznych radioźródeł. Na podstawie pomiarów dyspersji prędkości grupy galaktyk wokół gigantów pokazali, że w paru przypadkach (np. NGC6251, NGC315) nie jest ona zgodna z dyspersją prędkości, przewidywaną na podstawie korelacji z jasnością gromady w zakresie rentgenowskim (Mulchaey i Zabludoff 1998). Świadczy to o tym, jak sugerują autorzy, że gęstość rentgenowskiego gazu w badanych gromadach jest niespotykanie mała. Ewolucja pojedynczych galaktyk oraz całej ich grupy może być zatem zależna od własności ośrodka.

Obecnie prace poświęcone gigantycznym radioźródłom (np. Malarecki i in. 2013, 2015, Peng i in. 2015) skupiają się na wykorzystaniu tych obiektów do badania ośrodka gromad galaktyk w kontekście poszukiwania „brakującej” materii barionowej, która przypuszczalnie znajduje się w filamentach wielkoskalowej struktury Wszechświata, a której ilość wynika z teorii Wielkiego Wybuchu. Z uwagi na duże rozmiary struktur radiowych próbuje się szukać oddziaływań dżetów z materią barionową w ośrodku gromady galaktyk. Przy okazji tych badań autorzy prac skupiają się zarówno na gigantycznych radioźródłach, jak i na galaktykach należących do tej samej gromady. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że gigantyczne radioźródła rzadko występują w bogatych gromadach galaktyk, a dżety radiowe zorientowane są najczęściej w kierunkach gdzie koncentracja otaczających je galaktyk jest najmniejsza. Kolejnym wnioskiem płynącym z prac Maraleckiego jest fakt, że tylko 30% galaktyk w promieniu 0.25 Mpc od galaktyki macierzystej giganta posiada emisyjne linie widmowe, podczas gdy w dalszej odległości tę cechę wykazuje już 63% galaktyk. Z powyższych prac nie wynika jednak czy podobne własności wykazują radioźródła o mniejszych rozmiarach, a co za tym idzie, czy są one cechą gigantów, czy ogólnie wszystkich rozciągniętych radioźródeł.

Niżej opisane badania mają na celu sprawdzenie wpływu historii formowania się galaktyki macierzystej radioźródła na powstawanie wielkoskalowych

struktur radiowych. W zależności od tego, w jaki sposób ten proces przebiegał, mogły powstać pewne specyficzne warunki sprzyjające powstawaniu tych struktur. Historię formowania się galaktyki możemy badać poprzez analizę historii formowania się gwiazd w danej galaktyce oraz badanie ośrodka grupy lub gromady galaktyk, w której znajduje się galaktyka. W celu przeprowadzenia takiej analizy, do badań wykorzystane zostały nie tylko galaktyki macierzyste gigantów, ale również galaktyki znajdujące się w ich bezpośrednim otoczeniu. Takie podejście pozwoli na zbadanie, w jaki sposób historia formowania się (skład populacji gwiazdowych) galaktyki macierzystej może być powiązana z własnościami jej centralnego aktywnego jądra, aktywnością radiową oraz ośrodkiem, w którym propagują się dzety radiowe. Jeśli pewne globalne uwarunkowania, związane zarówno z procesami ewolucyjnymi, jak i własnościami ośrodka grupy/gromady, są odpowiedzialne za wielkoskalowe rozmiary radioźródeł, wówczas galaktyki z najbliższego otoczenia gigantów powinny posiadać trochę inny skład populacji gwiazdowych niż ich odpowiedniki znajdujące się w otoczeniu mniejszych radioźródeł.

Próbka oraz analiza danych

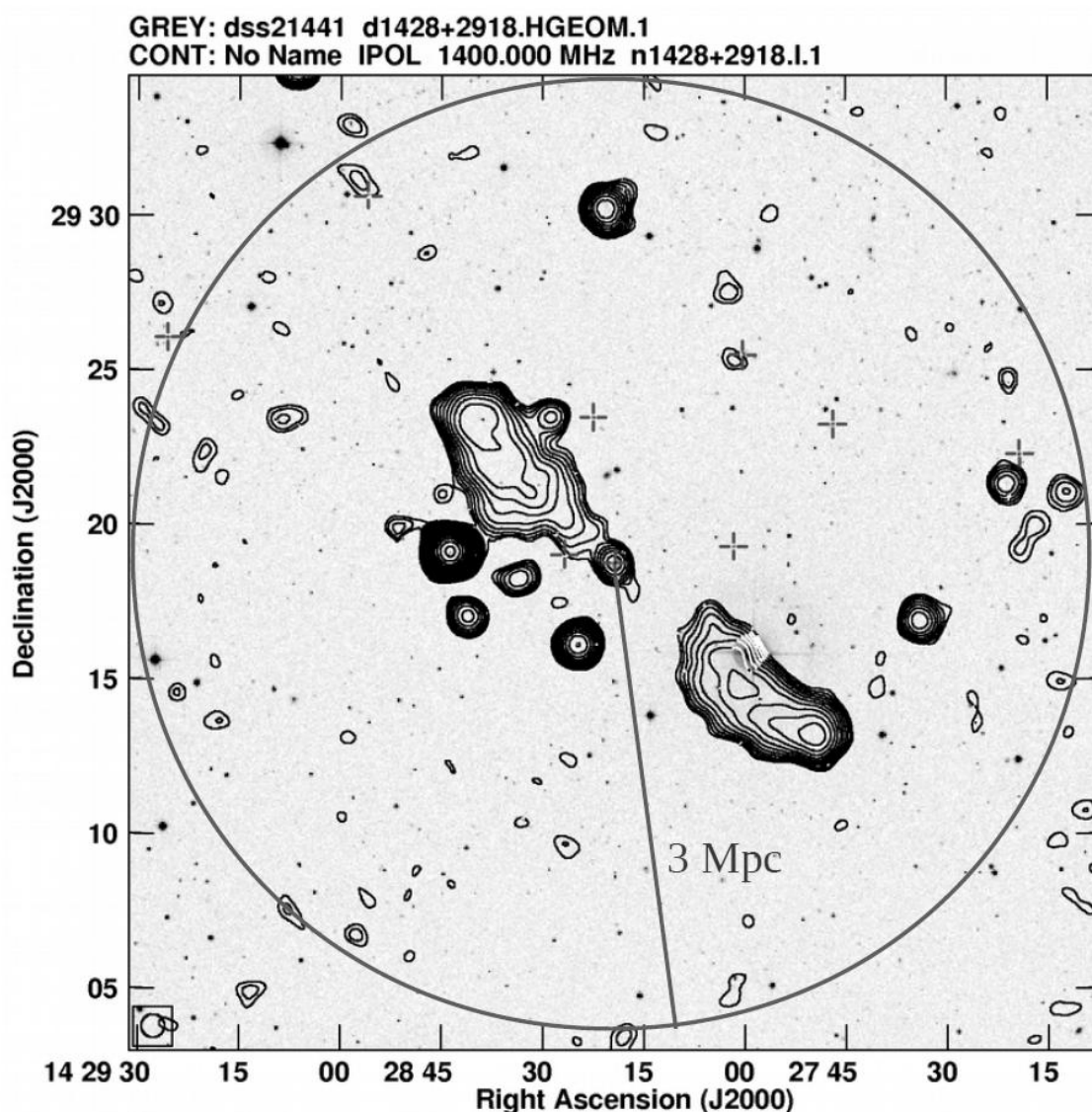
Z katalogu obecnie znanych gigantów (Kuźmicz i in. 2018) zostały wybrane te z obiektów, które spełniały następujące kryteria: i) galaktyki macierzyste gigantów posiadały widma optyczne w przeglądzie SDSS, ii) w promieniu 3 Mpc od każdego z nich zostały znalezione galaktyki należące do tej samej co gigant grupy/gromady galaktyk, które również posiadały dostępne widma optyczne.

Takie same kryteria selekcji zostały zastosowane do próbki porównawczej, w której znalazły się radiogalaktyki z pracy Koziel-Wierzbowska i Stasińska (2011) o mniejszych rozmiarach, typowych dla większości radiogalaktyk (od ok. 100 do 500 kpc).

Ostatecznie do badań wzięte zostało 41 gigantów, wokół których łącznie znaleziono 392 galaktyki towarzyszące oraz 218 mniejszych radioźródeł należących do próbki porównania z 1617 towarzyszami.

Widma optyczne wszystkich tych galaktyk zostały poddane standardowym etapom redukcji przy użyciu pakietu IRAF (poprawka na ekstynkcję galaktyczną oraz przesunięcie widm do zerowego redshiftu). W kolejnym kroku zostało wykonane modelowanie składu populacji gwiazdowych za pomocą programu Starlight Synthesis Code (CidFernandes i in. 2005). Program Starlight dopasowuje kontinuum pochodzenia gwiazdowego, które jest superpozycją widm emitowanych przez poszczególne gwiazdy w galaktyce. Do modelowania użyto 150 szablonowych widm gwiazd o różnych wiekach i metalicznościach ($1\text{Myr} < t^* < 18\text{Gyr}$, $0.005 < Z/Z_{\odot} < 2.5$). Przedziały widma galaktycznego, w których występowały linie emisyjne, zostały wyłączone z modelowania.

W wyniku dopasowania kontinuum, dla każdej badanej galaktyki uzyskano informacje o procentowym wkładzie gwiazd poszczególnych typów do jasności galaktyki, średnim wieku, masie i metaliczności gwiazd, dyspersji prędkości gwiazd, a tym samym, o masie centralnej czarnej dziury.

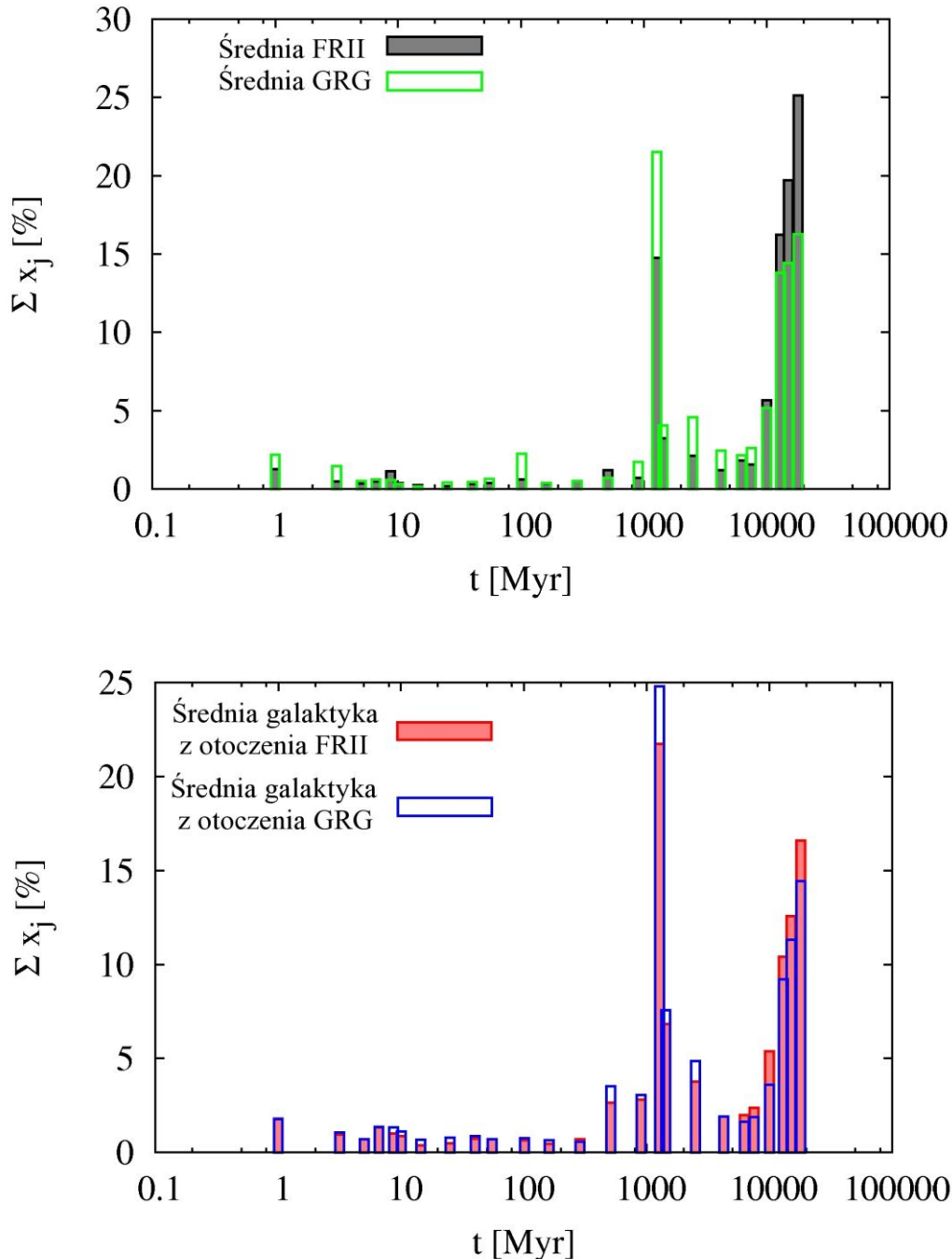


Rys 1. Mapa radiowa gigantycznej radiogalaktyki J1428+2918 na częstotliwości 1.4 GHz z przeglądu NVSS, nałożona na obrazek optyczny z DSS. Na mapie krzyżykami zaznaczone są galaktyki należące do tej samej co gigant grupy galaktyk.

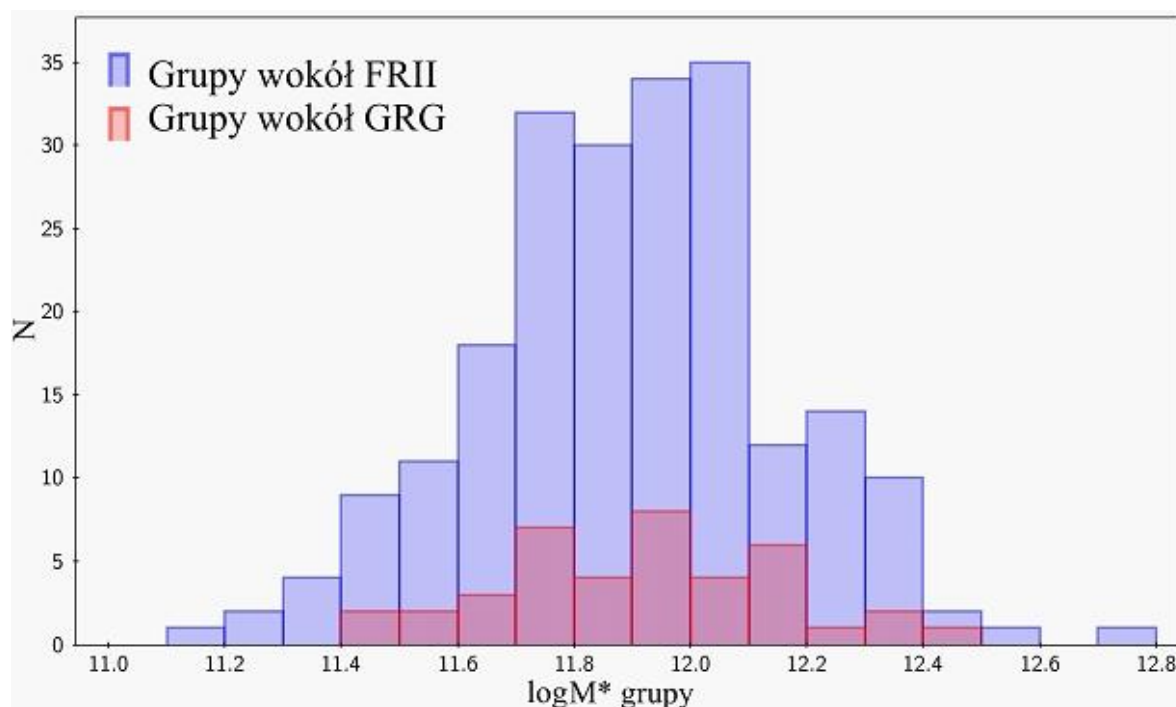
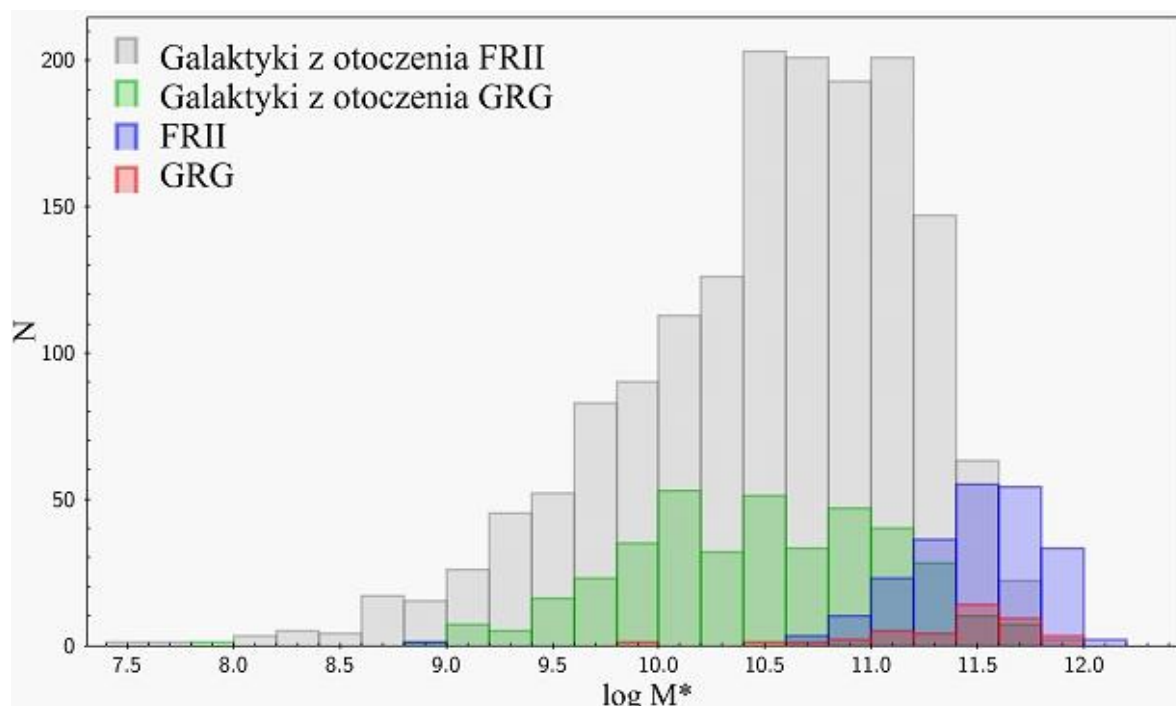
Wyniki

Na Rys. 2. pokazane zostały diagramy przedstawiające procentowy wkład (Σx_j) jasności gwiazd o danym wieku do jasności galaktyki, czyli tzw. skład populacji gwiazdowych danej galaktyki. Jak widać na lewym diagramie, gdzie przedstawione są uśrednione wyniki dla gigantów oraz mniejszych radiogalaktyk FR II, galaktyki macierzyste zarówno jednych, jak i drugich zdominowane są przez stare gwiazdy, jednak znacząco więcej starych gwiazd występuje w galaktykach macierzystych mniejszych radioźródeł FR II. Jeśli porównamy składy populacji dla galaktyk z otoczenia obydwóch typów radioźródeł

(prawy diagram), widzimy, że również są one zdominowane przez stare gwiazdy, jednak nie ma znaczącej różnicy pomiędzy galaktykami z otoczenia gigantów oraz mniejszych radioźródeł. Taki wynik może świadczyć o tym, że nawet, jeśli giganty byłyby wyróżnione ze względu na swoje położenie, tzn. znajdowałyby się w ośrodku o specyficznych własnościach, to te własności nie mają znaczącego wpływu na formację gwiazd w galaktykach znajdujących się w ich najbliższym otoczeniu.



Rys. 2. Uśrednione składy populacji gwiazdowych dla poszczególnych grup obiektów. U góry: dla gigantów oraz mniejszych radiogalaktyk typu FR II, z dołu: dla galaktyk z najbliższego otoczenia gigantów oraz z otoczenia mniejszych radioźródeł FR II.



Rys.3. Rozkład masy galaktyk dla poszczególnych typów obiektów. Po lewej: rozkłady masy galaktyk macierzystych gigantów, mniejszych radiogalaktyk typu FRII, galaktyk z otoczenia gigantów oraz z otoczenia radiogalaktyk FRII, po prawej: rozkład masy całej grupy galaktyk: grupy wokół gigantów oraz grupy wokół mniejszych radiogalaktyk typu FRII.

Na Rys. 3. przedstawione zostały rozkłady mas poszczególnych galaktyk, wynikające z ilości gwiazd tworzących daną galaktykę. Na lewym diagramie widać, że galaktyki, które są odpowiedzialne za generowanie struktur radiowych (giganty oraz mniejsze FRII), mają zdecydowanie większe masy. Wynika to z faktu, że zazwyczaj są to duże galaktyki eliptyczne w centrum gro-

mady, będące jednocześnie najmasywniejszym jej składnikiem. Wartości median mas dla gigantów i mniejszych radiogalaktyk wynoszą odpowiednio $\log M^* = 11.49$ oraz $\log M^* = 11.55$, wskazując, że masy galaktyk macierzystych gigantów są nieznacznie mniejsze od mas mniejszych radiogalaktyk. Podobna tendencja jest widoczna dla galaktyk z otoczenia tych radioźródeł. Galaktyki wokół mniejszych radioźródeł mają statystycznie większe masy (wartość mediany $\log M^* = 10.62$) niż galaktyki wokół gigantów ($\log M^* = 10.48$). Jeśli jednak popatrzymy na zsumowaną masę wszystkich galaktyk należących do danej grupy (prawy diagram na Rys. 3) widzimy, że rozkłady są bardzo podobne a mediany mas galaktyk dla grup wokół gigantów oraz mniejszych radiogalaktyk wynoszą odpowiednio $\log M^* = 11.92$ oraz $\log M^* = 11.91$.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej analizy populacji gwiazdowych gigantów oraz galaktyk z najbliższego ich otoczenia otrzymano następujące rezultaty:

- Galaktyki macierzyste gigantów są zdominowane przez stare populacje gwiazdowe.
- W porównaniu z mniejszymi radiogalaktykami posiadają one mniejszą ilość najstarszych populacji gwiazdowych, co świadczyć może o różnicach w historii formowania się galaktyk. Np. może to wskazywać na to że, w przeszłości te galaktyki uczestniczyły w większej ilości epizodów zlewania się galaktyk lub aktywność radiowa była w tych galaktykach wznowiana. Powyższe procesy sprzyjają powstawaniu nowych gwiazd w galaktyce.
- Masy galaktyk macierzystych gigantów są nieznacznie mniejsze niż masy mniejszych radiogalaktyk. Jeśli jednak porównamy masy całych grup wokół tych radioźródeł, to ta różnica nie jest znacząca. Świadczy to o tym, że grupy wokół gigantów i mniejszych radioźródeł są statystycznie podobne.
- Własności ośrodka w jakim znajdują się giganty i mniejsze radioźródła nie mają znaczącego wpływu na skład populacji gwiazdowych poszczególnych galaktyk należących do grupy/gromady galaktyk. Tak więc ewolucja galaktyki napędzana jest głównie przez wewnętrzne procesy zachodzące w galaktyce. Własności ośrodka mogą mieć jedynie drugorzędne znaczenie i wpływ na wewnętrzną ewolucję galaktyk.

*** Opisane badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu o numerze UMO-2016/20/S/ST9?00142

Literatura

- Blanton M. R., Berlind A. A., 2007, ApJ 664, 791
Chen R., Peng B., Strom R. G., Wei J., 2011a, MNRAS 412, 2433
Chen R., Peng B., Strom R. G., Wei J., Zhao Y., 2011b, A&A 529, 5
Chen R., Peng B., Strom R. G., Wei J., 2012a, MNRAS 420, 2715
Chen R., Peng B., Strom R. G., Wei J., 2012b, MNRAS 422, 3009

Cid Fernandes R., Gu Q., Melnick J., Terlevich E., Terlevich R., Kunth D., Rodrigues L.R.,
 Joguet B., 2004, MNRAS 355, 273
 Cid Fernandes R., Mateus A., Sodre L., Stasińska G., Gomes J.M., 2005, MNRAS 358, 363
 Croston, J. H., Kraft, R. P., Hardcastle, M. J., et al. 2009, MNRAS 395, 1999
 de La Rosa I.G., de Carvalho R.R., Vazdekis A., Barbuy B., 2007, AJ 133, 330
 de La Rosa, I. G.; de Carvalho, R. R.; Vazdekis, A., Barbuy B., Groups of Galaxies in the
 Nearby Universe, Proceedings of the ESO Workshop held at Santiago de Chile,
 5-9 December 2005, Edited by I. Saviane, V.D. Ivanov, J. Borissova, 2006, ESO
 ASTROPHYSICS SYMPOSIA. ISBN 978-3-540-71172-8. Springer-Verlag, 2007, s. 175
 Di Matteo T., Springel V., Hernquist L., 2005, Nature 433, 604
 Kauffmann G., White S. D. M., Heckman T. M., Menard B., Brinchmann J., Charlot S.,
 Tremonti C., Brinkmann J., 2004, MNRAS 353, 713
 Kozieł-Wierzbowska D., Stasińska G., 2011, MNRAS 415, 1013
 Kuligowska E., Jamrozy M., Kozieł-Wierzbowska D., Machalski J., 2009, AA 59, 431
 Kuźmich A., Jamrozy M., 2012, MNRAS 426, 851
 Machalski J., Jamrozy M., 2006, A&A 454, 95
 Machalski J., Jamrozy M., Saikia D.J., 2009, MNRAS 395, 812
 Machalski J., Jamrozy, M., Stawarz Ł., Kozieł-Wierzbowska, D., 2011, ApJ 740, 58
 Machalski J., Kozieł-Wierzbowska D., Jamrozy M., Saikia D. J., 2008, ApJ 679, 149
 Machalski J., Kozieł-Wierzbowska D., Jamrozy M., 2009, Urania-PA nr 1/2009
 Malarecki J. M., Jones D.H., Saripalli L., Staveley-Smith L., Subrahmanyan R., 2015,
 MNRAS 449, 955
 Malarecki J. M., Staveley-Smith L., Saripalli L., Subrahmanyan R., Jones D.H.,
 Duffy A.R., Rioja M., 2013, MNRAS 432, 200
 Mulchaey J. S., Zabludoff A. I., 1998, ApJ 496, 73
 Peng B., Chen R. R., Strom R., 2015, Proceedings of Advancing Astrophysics with the
 Square Kilometre Array
 Sarzi M., Shields J. C., Pogge R. W., Martini P., 2007, ASPC 373, 643
 Schoenmakers A. P., de Bruyn A. G., Röttgering H. J. A., van der Laan H., Mack K.-H.,
 Kaiser C. R., 2000, Proc. Perspectives on Radio Astronomy: Science with Large Antenna
 Arrays s. 165
 Subrahmanyan R., Saripalli L., Safouris V., Hunstead R. W., 2008, ApJ 677, 63
 Wilman D. J., Zibetti S., Budavri T., 2010, MNRAS 406, 1701



Finał konkursu Ars Astronomica w OAKJ w Rzepienniku Biskupim.

Kilka refleksji o teorii liczb

Krzysztof Maślanka

Instytut Historii Nauki PAN, Warszawa-Kraków

Kilkadziesiąt tysięcy lat temu nieznanymi nam ludziom dokonano niezwykłego odkrycia. Dziś wydaje się ono zupełnie naturalne, ale wtedy był to znaczący przełom: początek jednego z atrybutów człowieka – myślenia abstrakcyjnego. Wydaje się, że nastąpiło to niezależnie w kilku różnych miejscach na ziemi. Zauważono mianowicie, że zbiory takie jak np.: trzy kamienie, troje zwierząt, trzy gwiazdy lub trzy wylewy Nilu, choć dotyczą zupełnie różnych bytów, to jednak mają pewną wspólną cechę: ilość, *liczbę*. Jej oddzielenie od samych przedmiotów czy zjawisk sprawiło, że cecha ta zyskała własną osobowość; zdawała się „istnieć” w pewnym idealnym świecie.

Ten niematerialny, pozaczasowy świat wypełnił się stopniowo innymi liczbami. Jego najgłębsza istota do dzisiaj pozostaje przedmiotem dociekań filozofów – i, jak to zwykle w filozofii bywa, pozostanie chyba taką na zawsze, bowiem atrybutem filozofów jest raczej stawiać trudne i głębokie (ale czasem też zbyt ogólne i stąd po prostu nierozstrzygalne) pytania, niż na nie skutecznie oraz definitywnie odpowiadać.

Z tym jeszcze można się pogodzić. Czasem jednak parający się matematyką filozofowie przypominają przysłowiowe słonie w składzie porcelany: nie czując zupełnie subtelności, a często nawet nie rozumiejąc szczegółów przedmiotu swych dywagacji, starają się żonglować samymi nazwami. Co gorsze, dzięki temu wśród niefachowców uchodzą za erudyty, a im samym wydaje się, że przyczyniają się wręcz do postępu w matematyce...

Wspomniane wyżej oddzielenie liczb od numerowanych nimi obiektów nie jest ani łatwe, ani oczywiste – zwłaszcza w początkach nauczania arytmetyki. Ilustruje to znany dowcip, naiwny dialog dwu uczniów: – Ile to będzie, gdy dodasz dwie pomarańcze i trzy pomarańcze? – Nie wiem, bo my w szkole dodajemy jabłka...

Filozofowie o matematycznych zainteresowaniach stawiają od lat pytanie: Czy to, o czym mówią matematycy to odkrycia, czy wynalazki? Aby było mądrzej, nazywają to pytaniem o platonizm¹ obiektów matematycznych. Albo mówiąc po prostu: czy obiekty matematyki to nieznanne lądy, istniejące obiektywnie od zawsze i czekające na swego Kolumba? Czy może są czymś podobnym do maszyny parowej, czyli zręcznej i pożytecznej konstrukcji, która do czasu pojawienia się swego wynalazcy nie istniała? „Pytanie to wciąż na nowo zadają filozofowie wszystkich epok, ale zapewne pozostanie ono z nami na zawsze” – napisał matematyk i filozof amerykański pochodzenia włoskie-

¹ Typowa definicja platonizmu: „Niejednorodny nurt filozoficzny, opierający się na filozofii Platona (427-347 p.n.e.). W poszczególnych epokach historycznych, rozwijały się różne odłamy platonizmu, często bardzo się od siebie różniące”. – Czy może być bardziej mętne określenie?

go, Gian-Carlo Rota (1932-1999) i zaraz dodał: „Nie będziemy się przejmować tym pytaniem”².

Zresztą nie tylko matematyka jest celem swoistego „zagospodarowania” jej przez filozofów. Najwybitniejsi z nich brali się też do fizyki. Program był w założeniu dość ambitny: „Fizycy osiągnęli pewne wyniki, ale dopiero my pokażemy, o co w tym wszystkim chodzi”. Historia pokazuje jednak, że pewne poglądy sławnego Georga W. F. Hegla (1770-1831) na temat mechaniki Newtona lub Henri Bergsona (1859-1941)³ na temat teorii Einsteina są przedmiotem pobłażliwych uśmiechów fizyków. Nieco bardziej odpowiedzialne (a także mniej zabawne) są prace Karla Poppera (1902-1994) lub Thomasa Kuhna (1922-1996), ale i one nie wnoszą ostatecznie niczego, co mogłoby zainspirować fizyków. Wybitny współczesny fizyk-teoretyk Steven Weinberg (ur. 1933) zadał sobie sporo trudu, by zrozumieć koncepcje rozwoju nauki wg Kuhna (niegdyś swego kolegi z uczelni), przeczytał dokładnie jego opinio-twórczą książkę *Struktura rewolucji naukowych* i uznał ją za „*exciting*”⁴. Ostatecznie jednak i on musiał przyznać, że:

przeszkodą dla naukowców są te uproszczone modele (*over-simplified models*) rozwoju nauki, które proponują filozofowie od czasów Francisa Bacona do Thomasa Kuhna i Karla Poppera. Najlepszym antidotum na filozofię nauki jest znajomość historii nauki⁵.

Tyle złośliwego (ale szczerego) wstępu, która zawodowym filozofom na pewno do gustu nie przypadnie. Nie od dziś wiadomo, że prawda potrafi zboleć.

A teraz kolejny, jak to się teraz mawia: „niepoprawny politycznie” (a może wręcz zacofany?) pogląd. Wspomniałem powyżej o pozytywnym atrybucie człowieka, czyli o zdolności do abstrakcyjnego myślenia. Pora na atrybut negatywny. Jednym z nich jest chciwość. W chrześcijaństwie cecha ta została sformalizowana, jako jeden z siedmiu grzechów głównych. Dla świętego Pawła grzech ten jest początkiem innych grzechów: chciwość pieniędzy, władzy, sukcesu, rozrywki, ... Otóż odkrycie liczb pozwoliło posiadaczom rozmaitych dóbr określić stan ich majątku w sposób krótki, możliwy do zwięzłego zapisu na glinianej tabliczce lub kawałku papirusu.

Rola liczb była więc początkowo czysto praktyczna: pozwalała np. ponumerować posiadane przedmioty, wyrazić wagę kupionego zboża czy oddać miarę obszaru gruntów uprawnych. Albo po prostu: kreśląc prosty symbol wyrażający ilość posiadanych zwierząt w stadzie można było pochwalić się większą ich ilością, niż ta, którą posiadał zazdrosny sąsiad. Dzisiaj nikogo już to nie dziwi, bowiem, liczby wręcz otaczają nas – jako numery telefonów, adresy,

² Gian-Carlo Rota, *Indiscrete Thoughts*, 1997, s. 89.

³ W roku 1927 dostał nagrodę Nobla z literatury, nie z fizyki...

⁴ Steven Weinberg, *New York Review of Books* 1998, t. XLV, nr 15.

⁵ Steven Weinberg, *Four Golden Lessons*, „Nature” 2003, t. 426, s. 389.

bankowe konta, piny, pesele, ceny artykułów, notowania giełdowe, kursy walut, wyniki meczów itd. Życie bez liczb byłoby niewyobrażalne.

Ale z czasem, dzięki starożytnym Grekom, badanie świata liczb zyskało postać metodycznych dociekań i poszukiwania prawd absolutnych, ponadczasowych. Abstrakcyjny świat liczb, nawet tych najbardziej naturalnych: 1, 2, 3, ..., okazał się zdumiewająco bogaty, precyzyjny, a przede wszystkim skrajnie trudny w badaniu. Ujawniał kolejne ważne fragmenty prawdy o sobie w odstępach czasu liczonych niekiedy setkami lat. W ten sposób nawet dziś, po 2300 lat od uzyskania pierwszych wyników, okazuje się, że wciąż wiemy bardzo niewiele.

I tak narodziła się teoria liczb, a nieuchwytny – choć skądinąd przecież niezbędny i tak realny! – świat liczb zaczął się powoli zagęszczać. Praktyka wymusiła koncepcję ułamków. Z kolei czystym rozumowaniem pokazano ściśle, że istnieją też liczby niewymierne, których nie domagają się żadne zastosowania; liczby zresztą znacznie bardziej powszechne niż ułamki. W geometrii mają one interpretację długości pewnych odcinków i nie można ich wyrazić za pomocą ułamków, a co najwyżej dowolnie dokładnie przybliżyć. Odkrycie to było wielkim zaskoczeniem dla starożytnych pitagorejczyków, wg których „wszystko jest liczbą” (ok. 300 p.n.e.). Podobno też wywołało przynębnienie, wręcz kryzys w ich filozofii świata, więc postanowiono go nie rozpowszechniać. A potem pojawiły się kolejne rodzaje liczb. Stosunkowo późno Hindusi odkryli zero. W średniowieczu wynikła potrzeba liczb zespolonych, które początkowo traktowano formalnie, wręcz podejrzliwie. W dziewiętnastym wieku odkryto kwaterniony, dalej liczby algebraiczne, transcendentne, p -adyczne...

Podkreślę tu trzy rzeczy, które dla bardziej refleksyjnych matematyków są przejawami swoistego piękna ich dziedziny. Po pierwsze: starożytny dowód niewymierności pewnych liczb, np. pierwiastka kwadratowego z dwójki pozostaje do dziś, bez żadnych zmian, przytaczany w podręcznikach, jako wzorcowy przykład dowodu nie wprost, mówiąc dostojnie: *reductio ad absurdum*. Prawdy matematyczne, choć dla wielu niedostępne, co więcej – zimne i bezduszne, mają jednak absolutną trwałość. Raz dowiedzione pozostają niewzruszone. W otaczającym nas świecie, pełnym konwencji, przemijającej mody, politycznej poprawności czy, mówiąc wprost: koniunkturalnej obłudy, fakt ten zdecydowanie zasługuje na chwilę zadumy.

Z moich astronomicznych czasów pamiętam, jak odruchowo sprawdzano zawsze, czy dany artykuł jest sprzed paru dni („można go przejrzeć”), sprzed roku („stary”), czy sprzed paru lat („prawdopodobnie nieaktualny”). W matematyce tymczasem odkrycia zarówno Eulera, jak i Euklidesa są wiecznie młode. Może, co najwyżej, język, w którym je oryginalnie wyrażono bywa egzotyczny (łacina, greka), ale nie jest to przecież bariera nie do pokonania.

I druga uwaga: matematyka uczy pokory. Może nie tej moralnej czy chrześcijańskiej. Historia nauki dowodzi jednak wyraźnie, że w matematyce, w przeciwieństwie do wielu innych dziedzin ludzkiej działalności nie jest

możliwe systematyczne planowanie odkryć. (Stąd tak nielogiczny jest w matematyce, a modny obecnie system grantów, zwłaszcza długoterminowych.) Znana poetycka maksyma: „Mierz siły na zamiary, nie zamiar podług sił” bardzo szybko okazuje się tu naiwna i nieprzydatna. Analogie ze światem fizycznym bywają inspirujące, ale często okazują się złudne, niekiedy wręcz mylące. Czasem matematycy spotykają byty zaskakujące, osobliwe, „niepożądane” – i na pewno nieplanowane.

Wyprzedzające epokę odkrycie przez Georga Cantora (1845-1918) liczb pozaskończonych, a także opór najwybitniejszych matematyków (Leopold Kronecker, Gösta Mittag-Leffler, Henri Poincaré, Hermann Weyl) wobec tych koncepcji przyczyniły się do choroby umysłowej Cantora. W dodatku opiniotwórczy filozof Ludwig Wittgenstein zgłosił obiekcje filozoficzne. Trudno się temu dziwić: rewolucyjne wyniki Cantora dotyczące pojęcia nieskończoności były szokujące i ewidentnie sprzeczne z intuicją, która – jak się wyraził Einstein – jest „ważniejsza od wiedzy”. Tyle, że w fizyce. Matematyką rządzą inne, znacznie bardziej subtelne prawa.

Z kolei znalezienie dziwnych funkcji „wszędzie ciągłych, ale nigdzie nie gładkich” wywołało u niektórych wręcz przygnębienie. Matematyk francuski Charles Hermite (1822-1901) w liście z 20 maja 1893 r. do przyjaciela, również matematyka, Thomasa J. Stieltjesa (1856-1894) pisał nie kryjąc negatywnych emocji:

Je me détourne avec effroi et horreur de cette plaie lamentable des fonctions continues qui n'ont point de dérivées... (Odwracam się z przerażeniem i wstrętem od tej godnej pożałowania plagi, czyli funkcji, które nie mają w żadnym punkcie pochodnej...)⁶.

Funkcji takich nie można przecież zrealizować w rzeczywistym świecie, np. jako ruchu, czy innego przebiegu czasowego. Logicznie rzecz biorąc wydają się one mało estetyczne, nadmiarowe, jakby „wybrakowane”.

Matematyka ma jednak niewzruszone podstawy, jest nader żywotna i cierpliwie poucza tych, którym nie brak talentu, cierpliwości oraz wspomnianej pokory. Dziewiętnastowiecznym matematykom dała dobitną lekcję potrzeby ścisłości i rygoru. (To ostatnie słowo, podobnie jak wspomniana pokora, nie brzmi zbyt atrakcyjnie.) Opisana powyżej niekomfortowa sytuacja wymusiła m. in. głębsze zrozumienie istoty zbioru funkcji ciągłych, wpłynęła też pozytywnie na rozwój analizy matematycznej. W roku 1861 wielki⁷ matematyk niemiecki Karl Weierstrass (1815-1897) znalazł stosowne panaceum na opi-

⁶ *Correspondance d'Hermite et de Stieltjes*, Gauthier-Villars, Paris 1905, tome II, lettre 274, p. 318.

⁷ Prof. Jerzy Mioduszewski, topolog i historyk matematyki, bardzo nie lubi, gdy matematyków obdziela się umownymi etykietkami: ten wielki, tamten wybitny, ów genialny, jeszcze inny tylko wpływowy. Słusznie. Określenie „wielki” w przypadku Weierstrassa ma jednak naturalne uzasadnienie – był to wysoki, zwalisty mężczyzna. Kiedy w obecności Kroneckera (który był drobnej postury) powiedziano, że Weierstrass jest wielkim matematykiem, ten natychmiast się obraził.

sana „plagę”, gdy pokazał, że jakkolwiek zbiór wszystkich funkcji ciągłych nieuchronnie zawiera przypadki patologiczne, to jednak *każdą* z tych funkcji można *dowolnie dokładnie* przybliżyć tak prostymi i porządnymi funkcjami, jak wielomiany. Słowem pesymizm Hermite’a, choć szczerzy, okazał się niepotrzebny; zło okazało się pozorne i wyszło tylko na dobre.

Po trzecie wreszcie: teoria liczb często zaskakuje matematyków. Jej hipotezy są zwykle sformułowane w sposób zupełnie elementarny i każdy może je zrozumieć. (Jeśli tylko zechce, bo wielu brakuje dobrej woli.) Natomiast dowody prawdziwości niektórych hipotez są zwykle późniejsze o kilkadziesiąt lub kilkaset lat, a wymagają bardzo skomplikowanych technik, o których stawiającym te hipotezy nawet się nie śniło. Pewne inne hipotezy są z kolei tak beznadziejnie trudne, że, pomimo uporczywego wysiłku całych pokoleń matematyków, nikt nie ma nawet trafnego pomysłu, jak je skutecznie zaatakować (np. hipoteza Riemanna, 1859 r.). Miliardy miliardów wykonanych eksperymentów numerycznych mogą „przekonująco” sugerować ogólną prawdziwość tych hipotez. Jednak niejedyn raz okazywało się, że to złudzenie⁸. Bowiern wszystkie te, psychologicznie „olbrzymie” liczby są niczym w porównaniu z atrybutem teorii liczb – *nieskończonością*, która jawnie drwi sobie i z intuicji, i z eksperymentów⁹. Nieskończoności nie ogarnie żaden, najnowocześniejszy nawet komputer; poskromić ją może tylko ścisły dowód – efekt czystego rozumowania ludzkiego intelektu. Dopiero wówczas kusząca hipoteza zamienia się w twierdzenie i pojawia się niewzruszona pewność.

Czy te pobieżne refleksje zachęcają do studiów nad matematyką? Bądźmy szczerzy: nie. Zapewne niejedyn z czytelników zada sobie w duchu pytanie: – Po co to wszystko? Czy nie lepiej szukać piękna w jego naturalnym środowisku – w sztuce? Albo choćby w kontemplacji kwiatów, krajobrazów, zachodów słońca, gwiazdzistego nieba? Czy nie lepiej szukać doznań estetycznych w muzyce, a tajemnicy w religii? Po co komu takie mało spontaniczne, wyrafinowane matematyczne „piękno”?

Matematycy, w przeciwieństwie do artystów, humanistów czy polityków, są z natury wolni od przejawów zbędnej egzaltacji, niekontrolowanych wybuchów zachwyty, często sztucznych i obliczonych na zamierzony, doraźny efekt. Można ich posądzać o roztargnienie lub rozmaite uciążliwe dziwactwa, ale nie o egzaltację. Głębokie matematyczne pojęcia lub pomysłowe rozumowania nie potrzebują krzykliwej reklamy; same się obronią i zareklamują. Oczywiście, tylko w bardzo nielicznym i elitarnym gronie specjalistów, bowiern dostrzeżenie owej głębi wymaga zwykle przekroczenia wysokiego progu wiedzy. A współcześni, zwłaszcza młodszy podatnicy nie są do tego skłonni. Obecna mentalność, niecierpliwa i niezbyt skłonna do refleksji, odrzuca wy-

⁸ Więcej szczegółów por. Krzysztof Maślanka, *Liczba i kwant*, OBI, Kraków 2004.

⁹ Krzysztof Maślanka, *Ćwierć wieku od obalenia hipotezy Mertensa (1985). Refleksje na temat dowodu komputerowego*, *Prace Komisji Filozofii Nauk Przyrodniczych PAU*, t. V, 2011, s. 19-39. – *Matematyka eksperymentalna – kilka refleksji historyka nauki*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce” 2015, t. LVII, s. 115-150.

silek i skierowana jest na szybki efekt. Określenie „problem” jest synonimem „kłopotu”, czyli sytuacji niepożądaney. Historycznie ważne Problemy Hilberta (1900 r.) czy nowe Problemy Milenijne (2000 r.) to kuriozum, w które nie warto się płać, bo to oznacza lata bezowocnych na ogół rozmyślań oraz brak jakiegokolwiek gwarancji szybkiego sukcesu.

Nie zamierzam nikogo przekonywać, że wszystko to ma głęboki sens. Byłoby to podobne do tłumaczenia, że muzyka klasyków jest jednak piękna. Kto czuje to piękno, ten nie potrzebuje logicznego uzasadnienia; temu, kto nie czuje – nie pomogą żadne słowa. Podobnie, czy warto tłumaczyć dobry dowcip komuś, kto usłyszawszy go konsekwentnie zachowuje grobową powagę?

Można do tego podejść pragmatycznie i postawić proste pytanie. Większość z nas używa poczty komputerowej, kart bankomatowych lub robi przelewy gotówki przez Internet. Wszystko to (na ogół) bezpiecznie działa. Nasze listy trafiają do odpowiednich osób, a pieniądze na właściwe konta. Kto jednak wie, że za bezpieczeństwem tych poczynań kryją się twierdzenia dotyczące liczb pierwszych, m. in. wyniki znalezione przez Pierre’a de Fermata (1601-1665), francuskiego prawnika, który po godzinach pracy zajmował się teorią liczb? Ten skryty i małomówny „książę amatorów”, jak go trafnie nazwał szkocko-amerykański historyk matematyki Eric Temple Bell (1883-1960), prawie niczego nie udowodnił, a swe wyniki komunikował zwykle w listach do przyjaciół. Opublikował je pośmiertnie dopiero jego syn Samuel.

Jak zatem widać, matematyka, i to w swej najczystszej postaci, tj. teorii liczb, jest wśród nas, czy sobie z tego zdajemy sprawę, czy nie.

Na koniec całkiem świadomie doleję oliwy do ognia i zakończę te refleksje pewnym szczerym aż do bólu poglądem, które wypowiedział cytowany już wcześniej Gian-Carlo Rota:

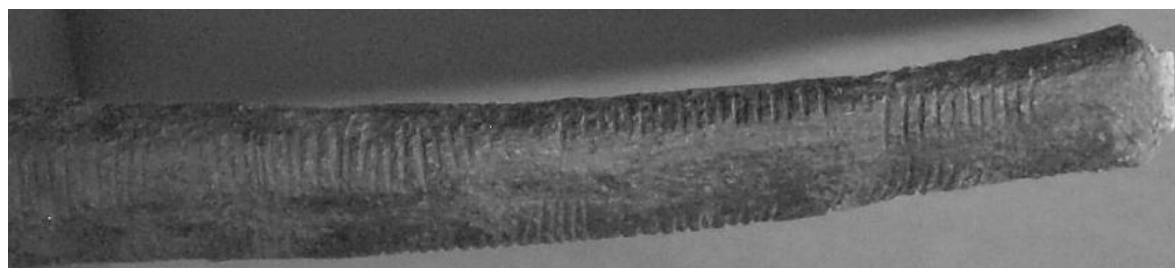
Praca matematyka to głównie mieszanina zgadywania, analogii, po-
bożnych życzeń i frustracji. A dowód nie jest wcale istotą odkrycia;
często jest to sposób, by się przekonać, że nasze umysły nie wypro-
wadzają nas w pole¹⁰.

Wyznanie to burzy schematyczny obraz matematyka, który w stereotypowym odczuciu laików ma być skrajnie roztargniony („wychodząc z domu całuje jajko na twardo, a żonę stuka łyżeczką w głowę”, „na wykładzie mówi *a*, myśli *b*, pisze *c*, a ma być *d*”). Co gorsze, wyznanie Rota burzy też oficjalny (i zalecany) obraz matematyka, który po przyjsciu do pracy z miejsca stawia śmiałą hipotezę, po czym obala ją lub udowadnia produkując nowe twierdzenie, które następnie stara się wzmocnić lub uogólnić; dalej – referuje wynik kolegom na seminarium, wysłuchuje ich krytycznych komentarzy, pisze artykuł i wysyła go do wysoko punktowanego periodyku, gdzie surowej ocenie podda go krąg renomowanych ekspertów itd.

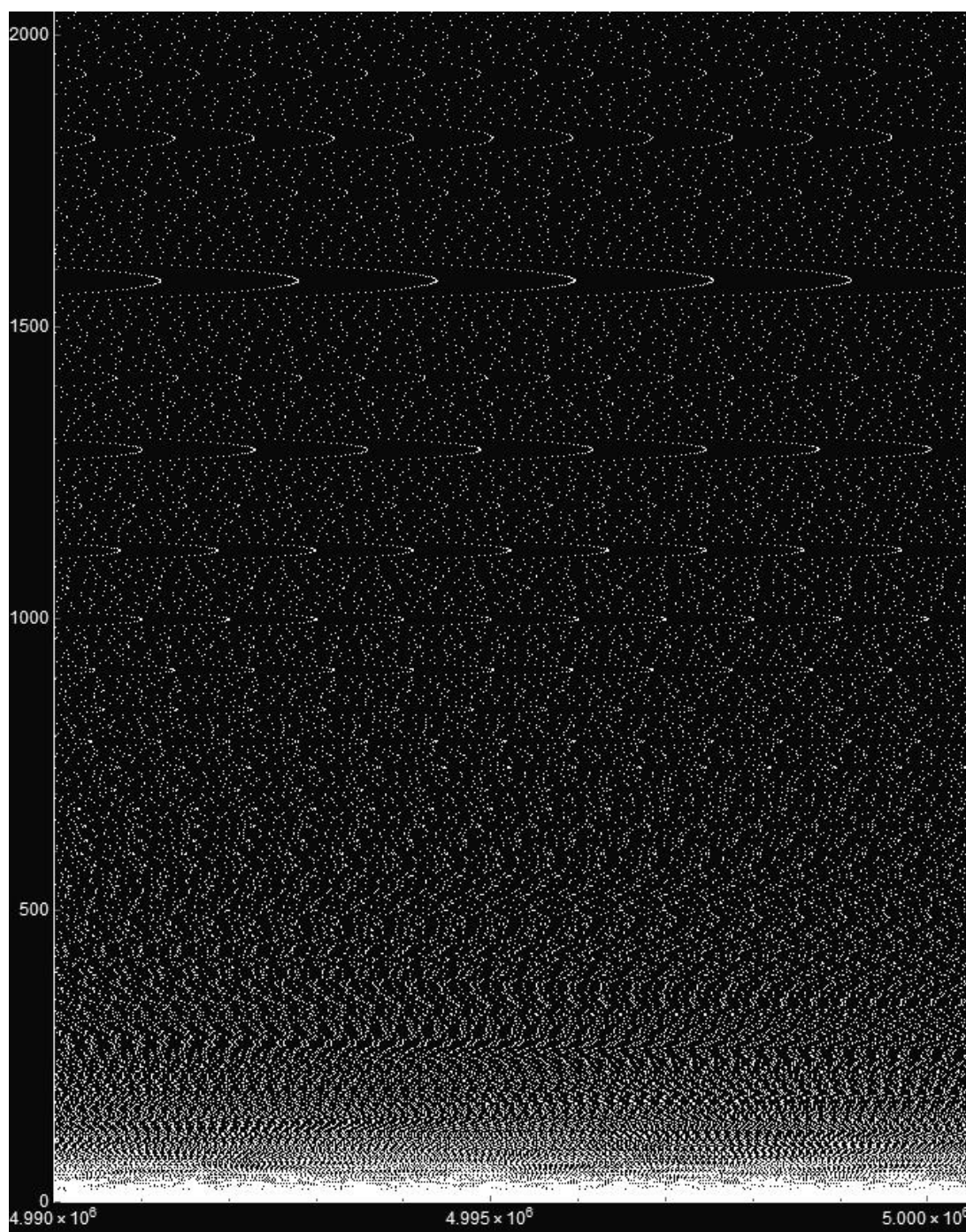
¹⁰ Gian-Carlo Rota, *Wstęp* do: Philip J. Davis, Reuben Hersh, *Świat matematyki*, PWN, Warszawa 1994.

Tak czy inaczej, w matematyce nie ma żadnego miejsca na – lansowane ostatnio w kręgach wtrącających się do nauki polityków – zalecenia kreatywności, innowacyjności, medialności oraz, co podobno najważniejsze, szybkich i skutecznych zastosowań badań naukowych do bieżących potrzeb gospodarki. Ale to już temat z pewnością zbyt przyziemny, by go tu podejmować.

Rysunki



Rys. 1. Przykład wczesnego rozumowania abstrakcyjnego przeprowadzonego przez człowieka z górnego paleolitu (od ok. 40 tys. do ok. 14 tys. lat p.n.e.). W okresie tym pojawiły się tzw. neoantropy (*Homo sapiens fossilis*). Zarówno pod względem budowy fizycznej, jak i potencjalnych możliwości umysłowych odpowiadali oni człowiekowi współczesnemu. Z tego też okresu pochodzi tzw. „Kość z Ishango” – znaleziona w 1960 roku przez belgijskiego geologa Jeana de Heinzelin de Braucourta w trakcie jego podróży przez Kongo Belgijskie. Jest to kość strzałkowa pawiana mająca ok. 20000 lat. Obecnie jest ona stałym eksponatem wystawy znajdującej się w *Royal Belgian Institute of Natural Sciences* w Brukseli. Na kości tej znajdują się nacięcia różnej długości. Niektórzy badacze uważają, że był to kalendarz lunarny. Jednak najdziwniejsze jest to, że jeden z ciągów tych nacięć reprezentuje wszystkie kolejne liczby pierwsze z przedziału (10, 20): 11, 13, 17, 19. Wiadomo, że problem rozmieszczenia liczb pierwszych wśród wszystkich liczb naturalnych należy do najważniejszych, najtrudniejszych i dotąd nierozstrzygniętych problemów matematycznych. Czyżby ówczesne neoantropy posiadały już takie zdolności do matematycznego abstrahowania?



Rys. 2. W teorii liczb pojawiają się często nieoczekiwane, estetyczne struktury. Oto dość elementarny przykład. Niech n oznacza liczbę naturalną, a k niech będzie jej dzielnikiem (czyli k dzieli n bez reszty). Na rysunku przedstawiono dzielniki k mniejsze od 2000 (oś pionowa) liczb n z przedziału w okolicy $n = 5000000$ (oś pozioma). Zatem każda biała kropka o współrzędnych (n, k) oznacza, że k dzieli n . Problem podzielności wiąże się ze wspomnianym wyżej problemem liczb pierwszych – łatwym do postawienia, ale skrajnie trudnym. Widać, że dzielniki układają się wzdłuż rodzin pewnych określonych parabol. Ten nieoczywisty fakt można dość łatwo uzasadnić. Szczegóły w artykule autora dostępnym na stronie internetowej czasopisma CMST: http://cmst.eu/issue/issue_2017_volume_23_2/

Czy Słońce zmienia się?

Grzegorz Michałek

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Słońce, nasza najbliższa gwiazda, jest naturalnym źródłem energii, które podtrzymuje życie na Ziemi, oświetlając i ogrzewając ją. Wydaje się, że jest ono stabilne i wieczne. Rzeczywistość okazuje się jednak bardziej brutalna. Słońce to obiekt zmienny, a ponadto w bardzo odległej przyszłości zakończy swój żywot. Z naszej perspektywy ważne jest zrozumienie istoty zmienności, gdyż wpływa ona na klimat oraz generuje zaburzenia geomagnetyczne na naszej planecie.

Słońce jest wielką, jasną, gorącą kulą, którą przenika silne pole magnetyczne, odpowiedzialne za jego zmienność. Bez pola magnetycznego Słońce byłoby nudną, mało interesującą gwiazdą. Pole magnetyczne, będące źródłem plam słonecznych oraz słonecznej aktywności, posiada bardzo skomplikowaną i zmienną strukturę. Ponadto, pole magnetyczne na Słońcu czasami ulega gwałtownym zmianom prowadzącym do wyrzutów obłoków magnetycznej plazmy oraz energetycznych cząstek do przestrzeni międzyplanetarnej. Wyrzuty te niejednokrotnie skierowane są w stronę naszej planety, generując na niej burze magnetyczne. Zaburzenia te stały się dla nas ważne od czasu, kiedy zaczęły rozwijać się nowoczesne technologie związane głównie z komunikacją i transportem. Taką przełomową datą był rok 1859, kiedy to Carrington zaobserwował najsilniejszy dotychczas obserwowany „wybuch” na Słońcu. Był to właśnie czas rozwijania łączności telegraficznej na naszej planecie.

Aktywność słoneczna została odkryta 406 lat temu wraz z wynalezieniem teleskopu. Wówczas zaobserwowano ciemne obszary na tarczy słonecznej, tzw. plamy słoneczne. Zaraz po tym odkryciu Słońce spletało nam jednak figla, tak jakby chciało ukryć swoją tajemnicę. Jego aktywność, czyli produkcja plam, zaczęła gwałtownie spadać aż do połowy XVII wieku. Wówczas praktycznie przestało ono produkować plamy. Taki stan trwał nieprzerwanie do początku XVIII wieku. Okres ten nazywamy, na cześć angielskiego astronoma, minimum Maundera. Takie dziwne zachowanie Słońca miało bardzo negatywny wpływ na naszą planetę. W tym okresie, zwanym małą epoką lodowcową, na Ziemi odnotowano znaczne ochłodzenie klimatu. Brak plam na Słońcu spowodował, że przestało ono wzbudzać zainteresowanie astronomów.

Dopiero w XIX wieku ponownie zaczęto intensywnie obserwować Słońce. Niemiecki astronom Samuel Schwabe odkrył po 17 latach ciągłych obserwacji, iż ilość plam na Słońcu zmienia się w cyklu 11-letnim. Rudolf Wolf, szwajcarski astronom, przeanalizował te i inne obserwacje, co pozwoliło mu zrekonstruować aktywność Słońca aż do początku XVII wieku. Od tego momentu są liczone kolejne cykle słonecznej aktywności. Obecnie znajdujemy się w 24 cyklu. Wolf wprowadził także liczbę, która opisuje ilość plam obserwowanych na Słońcu (tzw. liczbę Wolfa). Wskaźnik ten aż do dzisiaj jest

najbardziej rozpoznawalnym parametrem określającym stan aktywności słonecznej.

Idea, że aktywność słoneczna wpływa na klimat jest tak stara, jak początek obserwacji Słońca przy użyciu teleskopów. Włoski jezuita Riccilio zasugerował w 1651 roku, że temperatura na Ziemi spada wraz ze wzrostem ilości plam na Słońcu. Odmienną, prawidłową konkluzję, przedstawił w 1801 William Herschel, obserwując zmiany ceny pszenicy w Anglii. Zmiany cen powiązał z intensywnością plam słonecznych. Nieurodzaj i wysokie ceny wynikały, jego zdaniem, z niskiej aktywności Słońca. Oczywistym potwierdzeniem wpływu Słońca na klimat na naszej planecie były obserwacje uzyskane podczas minimum Maundera.

Aby określić wpływ Słońca na pogodę na naszej planecie, konieczne jest dokładne wyznaczenie energii, jaka do nas dociera ze Słońca. Pierwsze eksperymenty służące do wyznaczenia tej wielkości zapoczątkowali w 1835 roku Claude Pouilett oraz John Herschel (syn Williama). Wykorzystywali do tego celu pyrhelimetr, mały zbiornik z wodą, w którym mierzono zmianę temperatury na skutek ogrzewania przez promienie słoneczne. Wówczas Słońce wydawało się być obiektem absolutnie stabilnym, dlatego zakładano, że ilość energii docierającej na Ziemię w jednostce czasu i na jednostkę powierzchni musi być stała i nazwaną ją – stałą słoneczną. Pomiary z powierzchni Ziemi są bardzo utrudnione, gdyż duża część słonecznej energii jest rozpraszana w górnych warstwach atmosfery ziemskiej. Stosując poprawki uwzględniające wpływ ziemskiej atmosfery, Abbot w 1911 roku wyznaczył dokładnie stałą słoneczną (1361 W/m^2). Uważał on, że zmiana aktywności słonecznej może generować wahania całkowitej irradiancji, wynoszące około 1%. Tę hipotezę mogły zweryfikować precyzyjne obserwacje prowadzone powyżej atmosfery ziemskiej. Pierwsze nowoczesne metody wyznaczenia stałej słonecznej rozpoczęły się wraz z misją satelity Nimbus 7 w 1978 roku. Dzięki tej misji i serii kolejnych satelitarnych obserwacji udało się ustalić, iż stała słoneczna zmienia się wraz z 11-letnim cyklem słonecznej aktywności. Zmiany te są niewielkie, wynoszą jedynie 0.1% i mogą powodować zmianę równowagowej temperatury Ziemi o około 0.2°C .

Cykle słonecznej aktywności kojarzą się głównie z występowaniem plam słonecznych. Obecne techniki obserwacyjne, w szczególności teleskopy umieszczone na satelitach, pozwalają obserwować na Słońcu bardzo energetyczne erupcje: koronalne wyrzuty materii (KWM) lub rozbłyski. Podczas rozbłysku duże fragmenty atmosfery słonecznej rozgrzewane są do temperatur porównywalnych do panujących w jądrze słonecznym (10 milionów Kelwinów), czemu towarzyszy silna emisja promieniowania elektromagnetycznego w całym zakresie widma. Może to powodować dodatkową jonizację ziemskiej atmosfery. Z kolei, podczas koronalnych wyrzutów materii, ogromne fragmenty słonecznej korony wyrzucane są do ośrodka międzyplanetarnego z prędkościami, w ekstremalnych przypadkach, sięgającymi aż 3000 km/s .

KWM skierowane w stronę Ziemi mogą generować silne burze geomagnetyczne, których najbardziej znanym przejawem są zorze polarne.

Wszystkie opisane powyżej zjawiska występujące na Słońcu związane są z polem magnetycznym. Bez obecności pola magnetycznego Słońce byłoby niezmienną, mało interesującą gwiazdą. Pole magnetyczne na Słońcu zmienia swoją amplitudę i rozkład przestrzenny. Zmiana całkowitej struktury pola magnetycznego zachodzi w ciągu 11-letniego cyklu aktywności. Generalnie od zakończenia minimum Daltona (30 letni okres niskiej aktywności na początku XVIII wieku) cykle słoneczne były dość regularne, a ich amplituda wzrastała. Niestety, obserwacje ostatnich dwóch cykli pokazują, że Słońce wchodzi w fazę znacznie obniżonej aktywności. Pierwszym niepokojącym zjawiskiem, jakie zaobserwowano, była bardzo długa faza braku plam słonecznych, która nastąpiła po maksimum 23 cyklu. Okres ten charakteryzował się bardzo niską wartością pola magnetycznego oraz bardzo dużą liczbą dni bez plam słonecznych. Obecnie znajdujemy się w 8 roku 24 cyklu słonecznej aktywności. Maksimum miało miejsce w kwietniu 2014 roku. Od końca minimum Maundera (od 1755 roku) było jedynie kilka słonecznych cykli mających niższą liczbę plam słonecznych podczas maksymalnej fazy aktywności. Każda faza maksymalnej aktywności słonecznej składa się z dwóch wyraźnych pików występujących w odstępie dwóch lat. Zwykle pierwszy pik jest wyraźnie większy od drugiego. W obecnym cyklu słonecznej aktywności sytuacja była odwrotna. Wtórne maksimum (kwiecień 2014) było większe od pierwszego (marzec 2012). Ponadto, od 22 słonecznego cyklu, obserwujemy wyraźną spadkową tendencję w aktywności słonecznej. Przypuszcza się, że obecny „słaby” cykl słonecznej aktywności może spowodować spadek globalnej temperatury na Ziemi o pół stopnia. Fundamentalnym pytaniem jest problem, co nasz czeka w kolejnych cyklach słonecznej aktywności. Istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, że aktywność słoneczna będzie spadać i może kompletnie ustać, tak jak to miało miejsce w minimum Maundera. Pole magnetyczne na Słońcu nie jest podobne do tego, jakie obserwujemy na Ziemi, gdzie ma ono strukturę „sztywnego” dipola magnetycznego. Na Słońcu jest ono kształtowane przez namagnesowaną ciecz (zjonizowaną plazmę). Ruch tej plazmy determinowany jest przez rotację Słońca oraz ruchy komórek konwektywnych. Jedynie podczas minimum aktywności pole magnetyczne przypomina swym kształtem najprostszy dipol magnetyczny. Zaś w okresie maksimum pole magnetyczne traci swoją regularną strukturę i staje się chaotyczne.

Obecnie, wykorzystując heliosejsmologię (wykorzystywanie fal dźwiękowych do badania wnętrza Słońca), możemy dokładnie śledzić ruchy tej „magnetycznej cieczy” we wnętrzu gwiazdy. Na Słońcu obserwujemy regularne „strumienie” magnetycznej plazmy biegnące w kierunkach równoleżnikowych jak i południkowych. Pole magnetyczne o dowolnej wybranej biegunowości można uważać za fale magnetyzmu, które poruszają się z prędkościami około 20m/s. Badania wnętrza Słońca pokazały, że na średnie pole magnetyczne

składają się dwie główne fale unoszące je. Powstają one na obu przeciwnych hemisferach słonecznych. Mają podobne częstotliwości, ale ich przesunięcie fazowe wzrasta wraz z kolejnymi cyklami aktywności. W regularnych cyklach słonecznej aktywności fale te oddziałują ze sobą, tworząc plamy słoneczne i wzmożoną aktywność Słońca. Jednak, mniej więcej co 400 lat, interferencja tych fal prowadzi do ich wygaszania (efekt tłumienia). Wówczas nie ma czynnika, który mógłby generować plamy słoneczne i wzbudzać Słońce do wzmożonej aktywności. Tak było podczas minimum Maundera. Obecnie Słońce wydaje się zbliżać do momentu, kiedy ponownie wejdzie w fazę bardzo niskiej aktywności. Przypuszcza się, że cykle 26 i 27 słonecznej aktywności będą ekstremalnie słabe.

Co nasz czeka, jeżeli te prognozy się sprawdzą? Przewidywany spadek słonecznej aktywności spowoduje spadek stałej słonecznej o 3W/m^2 . Wywoła to znaczne obniżenie średniej temperatury na Ziemi. Klimat będzie podobny do tego, jaki był na naszej planecie w okresie minimum Maundera. Zimy będą długie i srogie. Wiele rzek będzie zamarzało na długi okres czasu, może nawet Bałtyk będzie zamarzał całkowicie zimą. Zmiana nasłonecznienia będzie miała też istotny wpływ na cyrkulacje powietrza. Na szczęście, według przewidywań obecne minimum słonecznej aktywności nie będzie tak długie jak w XVII wieku. Przypuszczalnie potrwa ono 3 cykle słonecznej aktywności.

Patrząc na ten efekt pozytywnie musimy zauważyć, że może Słońce chce nam „pomóc” w rozwiązaniu problem efektu cieplarnianego. Zakładając, że ten efekt istnieje i jest spowodowany działalnością ludzką, słabsza aktywność Słońca daje nam czas na rozwiązanie kłopotów z klimatycznym ociepleniem wywołanym przez emisję gazów przemysłowych do atmosfery. Jak się z tym problemem uporamy to Słońce, miejmy nadzieję, wróci do swojej normalnej aktywności.

Pomiary polaryzacji promieniowania radiowego obiektów kosmicznych

Stanisław Ryś

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Wstęp

Naturalne, kosmiczne źródła promieniowania elektromagnetycznego emitują sygnał, który ma naturę szumową – jest odbierany jako szum. Dla niektórych częstotliwości obserwujemy w sygnale nadwyżki promieniowania, które interpretujemy jako linie emisyjne w widmie. Fotony, z których składa się sygnał mają też inną cechę, którą nazywamy polaryzacją. Promieniowanie spolaryzowane wyróżnia w przestrzeni kierunek drgań pola elektrycznego. Oznacza to, że mamy do czynienia z nadwyżką fotonów, w których pole drga wzdłuż wyróżnionego kierunku. Tą nadwyżkę nazywamy spolaryzowaną liniowo. W promieniowaniu może również być nadwyżka fotonów, których kierunek drgań pola elektromagnetycznego rotuje w lewą bądź w prawą stronę, tę nadwyżkę nazywamy spolaryzowaną kołowo.

W zakresie fal radiowych najbardziej efektywnym źródłem fotonów spolaryzowanych liniowo jest mechanizm synchrotronowy, w którym fotony są emitowane przez elektrony poruszające się w polu magnetycznym. Ten fakt powoduje, że pomiar składowej spolaryzowanej w odbieranym sygnale pozwala badać strukturę pola magnetycznego obiektów kosmicznych.

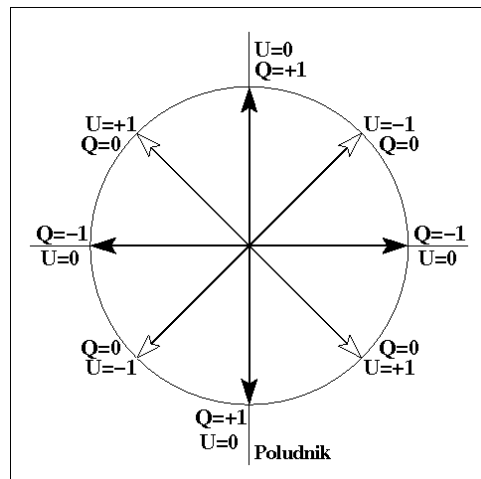
Polaryzacja promieniowania radiowego

Pomiary polaryzacji fal radiowych przeprowadzane są inaczej niż w dziedzinie fal optycznych. W ognisku radioteleskopu umieszczone są sondy, w których indukowane napięcia są proporcjonalne do wyróżnionej (przez konstrukcję sond) składowej elektrycznej fali promieniowania radiowego. Najczęściej, w ognisku umieszczone są dwie sondy, wyróżniające dwie wzajemnie ortogonalne składowe promieniowania. Mogą to być dwie sondy liniowe wyróżniające składowe horyzontalną \mathbf{H} , i wertykalną \mathbf{E} , lub dwie sondy kołowe wyróżniające składowe prawoskrętną \mathbf{R} , i lewoskrętną \mathbf{L} . Jeżeli chcemy porównywać pomiary wykonywane różnymi przyrządami należy zwrócić uwagę na definicję używaną przez autorów publikacji (patrz dodatek – rekomendacja IAU 2015).

Ponieważ mamy dwie składowe pola promieniowania czyli dwa 'niezależne' sygnały z dwóch sond to do zarejestrowania pełnego sygnału musimy użyć dwóch odbiorników, które składają się na tzw. odbiornik polarymetryczny. Wzmocnione przez odbiorniki dwa niezależne sygnały oznaczone jako A i B są podawane na wejścia tzw. polarymetru, który produkuje z nich cztery wartości: dwie proporcjonalne do mocy sygnału w każdym z kanałów oraz dwie proporcjonalne do mocy sygnału korelacji tych dwóch sygnałów. Istnienie składowej skorelowanej świadczy o polaryzacji sygnału.

Polaryzację opisujemy parametrami Stokesa **I**, **Q**, **U**, **V** [1][2]. Można je traktować jak składowe wektora - są wartościami mocy sygnału opisującymi wyróżnione kierunki (Q,U) i skrętność (V). Natomiast przez I oznaczamy moc całkowitą. Ponieważ indukowane i wzmocnione przez odbiorniki napięcia w obu torach odbiornika polarymetrycznego mają amplitudę oraz fazę, to możemy je opisywać liczbami zespolonymi. Polarymetr posiada cztery wyjścia, na których rejestrujemy wartości: A^2 , B^2 , $\text{Re}\{A*B\}$, $\text{Im}\{A*B\}$ – gdzie $\text{Re}\{A*B\}$ oznacza część rzeczywistą $\{A*B\}$, natomiast $\text{Im}\{A*B\}$ część urojona sygnału korelacji. Z tych wartości możemy wyliczyć parametry Stokesa I, Q, U, V. Można wykazać, że parametry Stokesa są odpowiednio równe: $I=E^2+H^2$, $Q=E^2-H^2$, $U=2\text{Re}\{E*H\}$, $V=2\text{Im}\{E*H\}$ dla sond polaryzacji liniowej, $I=R^2+L^2$, $Q=2\text{Re}\{R*L\}$, $U=2\text{Im}\{R*L\}$, $V=R^2-L^2$ dla sond polaryzacji kołowej. Dla obydwu przypadków suma mocy sygnału na wyjściach obydwu odbiorników jest nazywana mocą całkowitą.

Należy zwrócić uwagę na to, że parametry Stokesa opisujące polaryzację liniową (U i Q) tworzą wektor, który ma spin równy 2, co oznacza, że obraca się on dwa razy szybciej niż płaszczyzna polaryzacji (kierunek drgań składowej elektrycznej wektora promieniowania). Parametry polaryzacji liniowej – składowe Q i U wektora Stokesa – możemy zapisać jako: $U=P*\sin(2\theta)$, $Q=P*\cos(2\theta)$, gdzie P jest amplitudą, a θ kątem wektora polaryzacji liniowej. Q i U opisują jedynie długości i kierunki wektorów a nie opisują zwrotu tych „wektorów” (Rys.1.). Mają tą użyteczną własność, że można je traktować jak składowe wektora, czyli dodawać, mnożyć etc. [3].



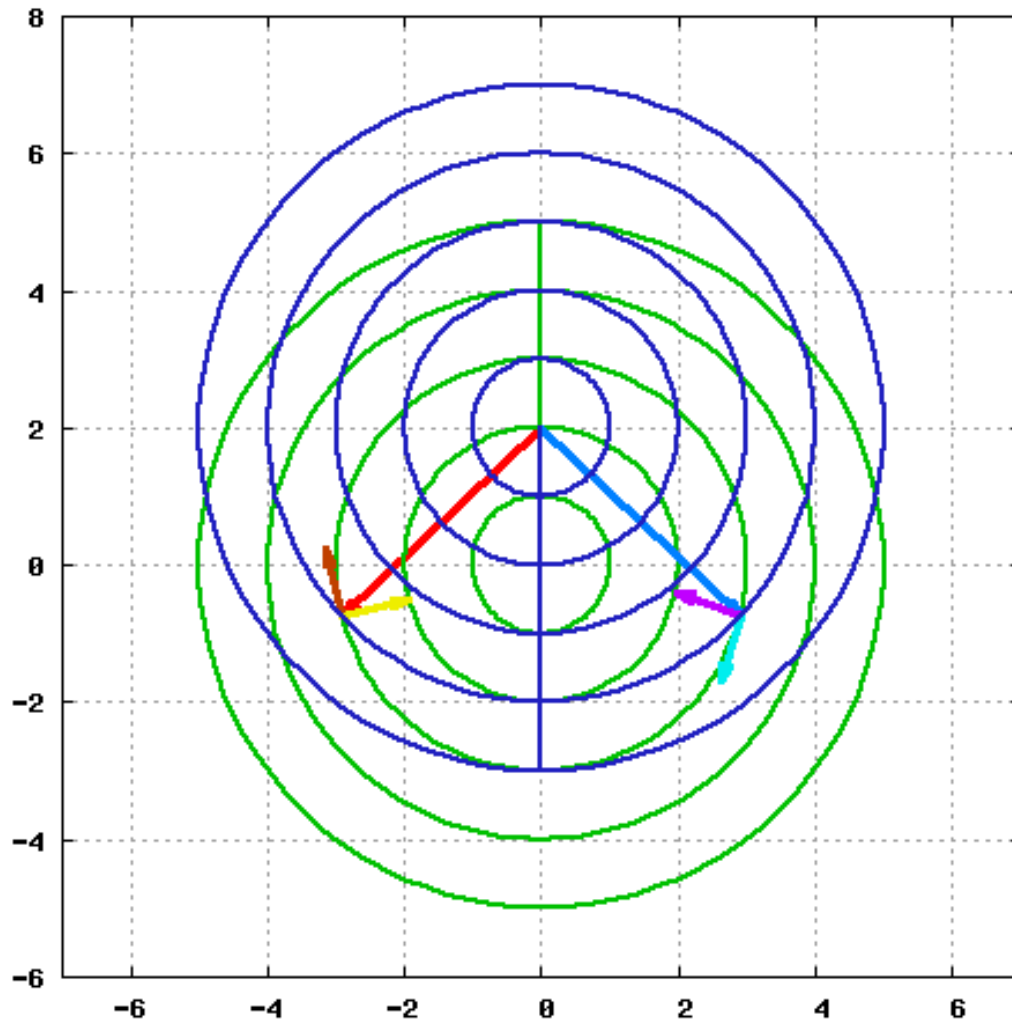
Rys. 1. Płaszczyzna parametrów Stokesa polaryzacji liniowej Q - U na sferze nieba w układzie obserwatora. Zauważmy, że wartości ($Q = +1$, $U = 0$) i ($Q = -1$, $U = 0$) leżą na tej samej prostej tzn. określają jedynie kierunek a nie wyróżniają zwrotu.

Redukcja danych na kąt paralaktyczny obserwacji

Aby poprawnie porównywać różne pomiary musimy zdefiniować układ współrzędnych na sferze nieba. W każdym punkcie sfery nieba możemy zdefiniować układ, w którym oś współrzędnych niezależnych (X) będzie tożsama z południkiem przechodzącym przez ten punkt. Od tej osi liczymy kąt θ , opi-

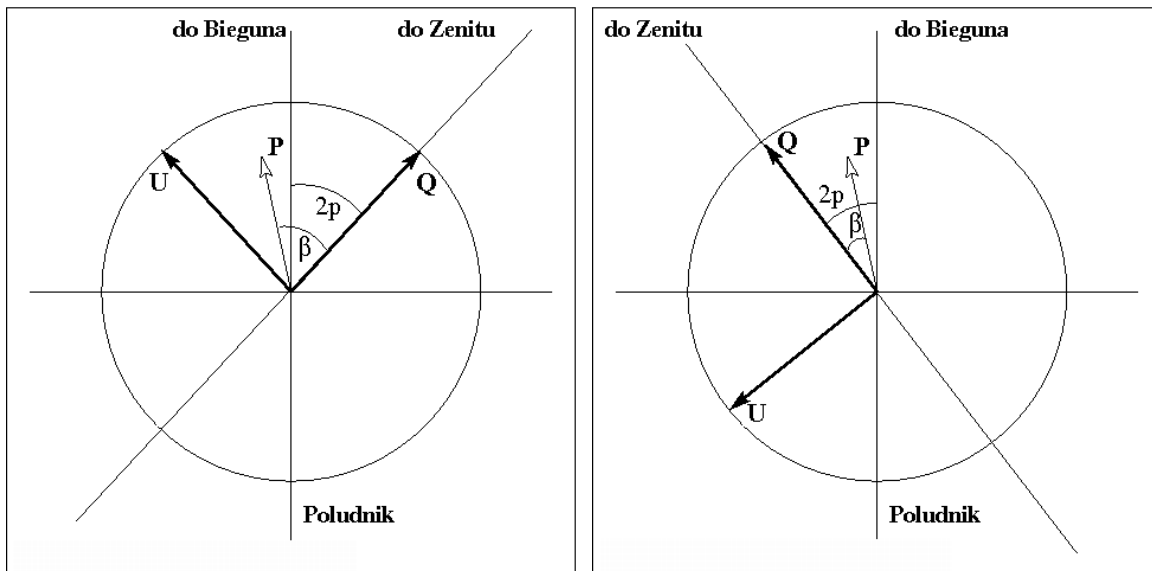
sujący kierunek wektora polaryzacji liniowej P. Drugą osią współrzędnych będzie prosta prostopadła od osi X przechodząca przez wybrany punkt i mająca zwrot zgodny z definicją układu prawoskrętnego.

Wykonując obserwacje źródła spolaryzowanego liniowo radioteleskopem z montażem azymutalnym zaobserwujemy rotację wektora Stokes'a (Rys.2).

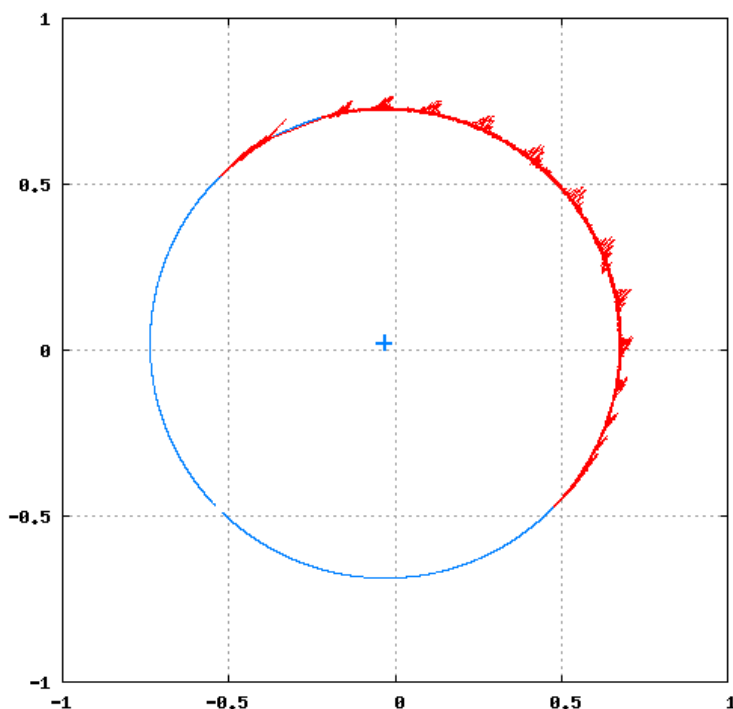


Rys. 2. Pozycje sond w ognisku radioteleskopu z montażem horyzontalnym rzutowane na sferę nieba dla dwóch wybranych azymutów radioteleskopu. Jeżeli dla przykładu przyjmiemy, że wektor promieniowania spolaryzowanego leży wzdłuż wybranego południka, to widzimy, że sonda polaryzacji pionowej (skierowana na zenit) dla tych dwu azymutów jest odchylna od kierunku wyznaczonego południkiem w prawo (na wschodzie) i w lewo (na zachodzie).

Na rysunku 3 kąt wektora polaryzacji $\theta = \beta + p$, gdzie β to kąt wektora P względem sond odbiornika mierzony od kierunku na zenit tj. pozycji sondy polaryzacji pionowej (Q+), p jest kątem paralaktycznym. θ to kąt pozycyjny wektora polaryzacji z definicji mierzony od południka na wschód. Kąt paralaktyczny jest mierzony od południka i jest ujemny na wschodzie a dodatni na zachodzie w układzie prawoskrętnym. W obydwu układach kąt $\theta = \beta + p$.



Rys. 3. Pozycje sond odbiornika polarymetrycznego na sferze nieba: na ujemnym azymucie (z lewej) i na dodatnim (z prawej).



Rys. 4. Zmierzone wartości Q vs. U poprawione jedynie na kąt paralaktyczny (czerwone). Dopasowany okrąg (niebieski) jest przesunięty względem środka układu współrzędnych – to wartość tła wokół tego kalibratora. Promień okręgu to stały poziomy sygnał od ziemi i odbiornika - to zakłócenie. Niewielkie czerwone pagórki na tym okręgu to sygnał spolaryzowany liniowo ze źródła 3C286.

Oznaczając wartości mierzone przez q i u otrzymamy wzory: $q = P \cos(2\beta)$, $u = P \sin(2\beta)$, gdzie P jest amplitudą składowej spolaryzowanej. Wstawiając $\beta = \theta - p$ wyliczamy:

$$q = P \cos(2\theta - 2p) = P \cos(2\theta)\cos(2p) + P \sin(2\theta)\sin(2p),$$

$$u = P \sin(2\theta - 2p) = P \sin(2\theta)\cos(2p) - P \cos(2\theta)\sin(2p).$$

Wartości prawdziwe Q i U mierzone względem południka to $Q = P \cos(2\theta)$,

$U = P \sin(2\theta)$. Wstawiając do wzoru opisującego wartości mierzone otrzymamy:

$$q = Q \cos(2p) + U \sin(2p), \quad u = U \cos(2p) - Q \sin(2p).$$

Powyższa transformacja opisuje wartości zmierzone na wyjściu idealnego polarymetru w radioteleskopie z montażem horyzontalnym. Transformacja odwrotna pozwala wyliczyć wielkości prawdziwe zdefiniowane na sferze nieba w układzie równikowym:

$$Q = q \cos(2p) - u \sin(2p), \quad U = u \cos(2p) + q \sin(2p).$$

Jako przykład przedstawiono na rysunku 4 obserwacje źródła 3C286 poprawione na rotację wywołaną kątem paralaktycznym.

Poprawki aparaturowe

Każdy pomiar jest wykonywany ze skończoną dokładnością, a dopuszczalne zmiany/niestabilności parametrów systemu muszą być mniejsze od mierzonego (oczekiwanego) poziomu sygnału. W praktyce, w każdym pomiarze pojawiają się problemy związane z zakłóceniami, które mogą być zewnętrzne jak pogoda, czy cywilizacja oraz aparaturowe związane z niestabilnościami odbiorników i szumem własnym aparatury pomiarowej.

Niestabilności aparatury możemy wyeliminować/zredukować poprzez częste (kilka razy na sekundę) porównywanie mierzonego sygnału z sygnałem sztucznego źródła szumów o którym wiemy, że jest bardzo stabilne. Natomiast przeliczenie do jednostek fizycznych (jak np. temperatura jasnościowa) wykonujemy porównując mierzone sygnały z pomiarami stabilnego (znanego) obiektu na niebie.

Wykonując opracowanie danych (kalibrację/redukcję) i porównania pomiarów, musimy uwzględnić: niestabilności wzmocnienia niezależne w kanałach A i B, nierówności wzmocnienia w kanałach A i B, różnice szumów własnych obu kanałów, czy wreszcie sprzężenia międzykanałowe tj. przecieknięcia sygnałów między kanałami A i B. W niektórych obserwacjach musimy uwzględnić różnice poziomu szumów tła ziemskiego na różnych azymutach – różnych pozycjach radioteleskopu.

Zakłóceń zewnętrznych nie potrafimy wykalibrować - potrzebne są 'radiowo ciche' miejsca dla radioteleskopu. Kalibracja przyrządu (radioteleskop = czajka + odbiorniki + polarymetr) polega na wyznaczeniu:

- współczynników opisujących jak zmieniają się własności systemu wraz ze zmianą pozycji radioteleskopu (jak opisany powyżej kąt paralaktyczny),
- współczynników opisujących 'przecieknięcie' sygnałów między dwoma kanałami odbiornika tzw. Macierz Mülera [4][5].

Macierz Mülera (ozn. \mathbf{M}) opisuje jaki wkład do każdego z mierzonych parametrów Stokesa wnoszą prawdziwe parametry Stokesa. Oznaczmy zmierzony wektor Stokesa przez $S_M = (I_M, Q_M, U_M, V_M)$, a wektor wartości prawdziwych przez $S_P = (I_P, Q_P, U_P, V_P)$. Wtedy rozpisane na równania zależności ($S_M = \mathbf{M} * S_P$) są następujące:

$$\begin{aligned}
I_M &= M_{II} * I_P + M_{IQ} * Q_P + M_{IU} * U_P + M_{IV} * V_P \\
Q_M &= M_{QI} * I_P + M_{QQ} * Q_P + M_{QU} * U_P + M_{QV} * V_P \\
U_M &= M_{UI} * I_P + M_{UQ} * Q_P + M_{UU} * U_P + M_{UV} * V_P \\
V_M &= M_{VI} * I_P + M_{VQ} * Q_P + M_{VU} * U_P + M_{VV} * V_P
\end{aligned}$$

Indeksy elementów macierzy wybrano tak, że M_{XY} to ułamek prawdziwej wartości parametru Y wnoszonej do kanału X. Idealny przyrząd ma jednostkową macierz Mülera ($M_{II} = M_{QQ} = M_{UU} = M_{VV} = 1$, a pozostałe równe zero).

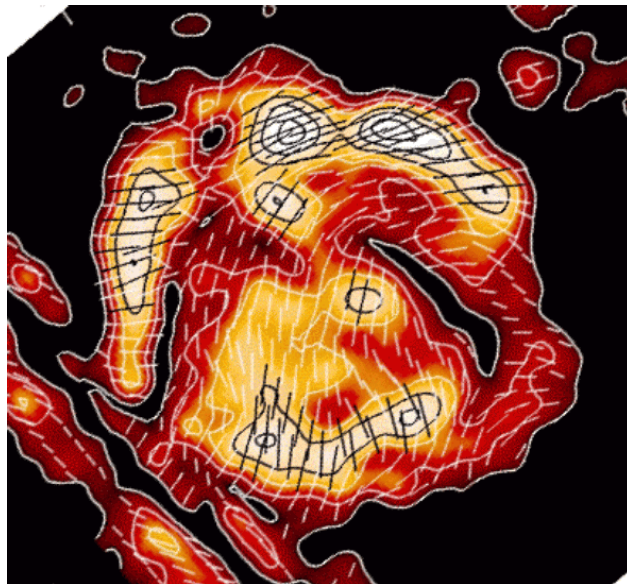
Wyznaczenie wartości zmierzonych na wyjściu polarymetru i przypisanie ich do dyskretnego źródła jest proste – *wiemy gdzie źródła nie ma* – i możemy wyznaczyć poziom tła a następnie odjąć (np. 3C286 na rys. 4). W przypadku źródeł rozciągniętych możemy mieć trudności z wyznaczeniem poziomu tła. Skrajnymi przypadkami są:

- 1/ promieniowanie mikrofalowe tła – jest na całej sferze;
- 2/ nasza Galaktyka – nie wiemy gdzie się 'kończy' ...

Obserwacje tego typu obiektów wymagają wypracowania specjalnych metod.

Wyniki

Opisane powyżej metody opracowania obserwacji zostały zastosowane do przeglądu promieniowania spolaryzowanego naszej Galaktyki. Przegląd ToPoS (Toruń Polarimetric Survey) jest realizowany na 32m radioteleskopie w Piwnicach k. Torunia. Celem tego przeglądu jest wyznaczenie rozkładu natężenia i kierunków wektorów promieniowania spolaryzowanego na północnej sferze nieba. Pierwsze wyniki z testowych pomiarów pozostałości po supernowej HB9 przedstawione są na rysunku 5.



Rys. 5. HB-9 pozostałość po supernowej w promieniowaniu spolaryzowanym. Kolorem oznaczono natężenie promieniowania spolaryzowanego, a odcinki opisują kierunek pola magnetycznego. W lewym dolnym rogu - skośne linie to zakłócenia, których nie udało się poprawić automatycznie.

Literatura

- [1] Jackson J.D., 1982, *Elektrodynamika klasyczna*, PWN, Warszawa, rozdz. 7.
- [2] Rholes K., Wilson T.L., 2004, *Tools of Radio Astronomy*, Springer-Verlag
- [3] Heiles C., 2002, *ASP Conf. Ser.* 278, 131
- [4] Cenacchi E., Kraus A., Orfei A., Mack K-H., 2007, *A&A* 498, 591
- [5] Johnson S., 2002, *Pub. Astr. Soc. Austr.* 19, 277

Dodatek

IAU 2015 Recommendation

The issue

Scientists working on the polarization of the Cosmic Microwave Background (CMB) use a convention for the polarization angle (PA) which is opposite to the IAU approved standard. This may cause confusion and misunderstandings.

Background

The convention astronomers follow for the PA (Polarization Angle) goes back to the 19th century and it has been in use for observations going from radio to gamma rays:

„the PA increases counter-clockwise when looking at the source”.

This convention is consistent with the one used for the Position Angle and it has been enforced by the IAU with a Resolution by Commissions 25 and 40 at the IAU XVth General Assembly in Sydney in 1973 (see *Transactions of the IAU*, Vol. XVB, pg. 166). Recently, the scientists investigating the polarization of the CMB (the CMB polarization has been discovered in 2002), have unfortunately adopted the opposite convention (PA increasing clockwise when looking at the source). This corresponds to a change of sign of the U Stokes parameter and is causing confusion and misunderstandings, in particular in the case of polarization data coming from experiments and satellites which are used by the CMB community and by other astronomers.

Recommendation

The IAU recommends that all astronomers, including those working on the CMB, follow the IAU Resolution for the Polarization Angle in all their publications.

Paris, December 8th, 2015

Piero Benvenuti,	IAU General Secretary
Pietro Ubertini,	President, Division B
Saul J. Adelman,	President, Commission B6



Anna Wójtowicz

Nowe spojrzenie na własności radiogalaktyk z osiowo-symetrycznymi zaburzeniami dżetu

Anna Wójtowicz

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego

Wprowadzenie

Rozwój technologii radiowej z początkiem XX w. umożliwił obserwacje rozciągłych struktur radiowych na niebie. Część z tych obiektów udało się utożsamić z galaktykami obserwowanymi w zakresie optycznym.

Historycznie można podzielić radioźródła na podstawie ich morfologii na dwa typy (Fanaroff i Railey 1968): FR I – radioźródła z maksimum jasności skoncentrowanym wewnątrz galaktyki oraz FR II – radioźródła o maksimum jasności przypadającym na brzegach struktury radiowej. Obserwowane radiogalaktyki posiadają jednak często o wiele bardziej skomplikowane morfologie, przez co nie dają się prosto przyporządkować do danego typu FR.

Jednym z interesujących podtypów tych obiektów są radiogalaktyki o morfologii w kształcie “X”. W obiektach tych można zaobserwować młodą (pierwotną) i starą (dalej zwaną wtórną) strukturę radiową, które często są wyraźnie rozdzielone i widoczne pod kątem do siebie. Niektóre tylko z tych radioźródeł mogą posiadać mosty łączące te struktury, tym samym posiadając morfologię bardziej przypominającą kształtem literę “Z”.

Procesy odpowiedzialne za formowanie się struktury “X” pozostają niejasne. W literaturze dyskutowane są różnorakie scenariusze (Gopal-Krishna i in. 2012) od superpozycji dwóch aktywnych jąder, przez niestabilności związane z pływem wstecznym, do modelu uwzględniającego zderzenia galaktyk. Ostatni ze wspomnianych scenariuszy wydaje się być szczególnie interesujący ze względu na możliwość wykrycia fal grawitacyjnych, które powstają w procesie zlewania się super masywnych czarnych dziur. W obecnie dyskutowanym scenariuszu hierarchicznego powstawania struktur we Wszechświecie, dzisiejsze galaktyki są wynikiem zderzeń, jakie miały miejsce w przeszłości. Zatem scenariusz angażujący oddziaływanie galaktyk może tłumaczyć dlaczego aż 10 % wszystkich obserwowanych silnych radiogalaktyk typu FR II stanowią te o morfologii “X”.

Kolejnym interesującym podtypem są radiogalaktyki o morfologii podwójno-podwójnej. Podobnie jak obiekty o morfologii “X”, posiadają one wyraźnie rozdzieloną pierwotną i wtórną strukturę ze wspólnym centrum. Jednak obie te struktury ułożone są niemalże w jednej linii, z czego struktura pierwotna znajduje się wewnątrz struktury wtórnej. Naukowcy nie są zgodni co do procesów ich powstawania, a za możliwe przyczyny omawianych scenariuszy (Schoenmakers i in. 2000) podają niestabilności pływu wstecznego, jak i przerywaną aktywność dżetu, różnego pochodzenia.

Rozliczne podobieństwa obu typów obiektów i ich możliwych przyczyn formowania sprawiły, iż zaczęto się zastanawiać czy formowania się takiego

typu obiektów nie można wytłumaczyć na gruncie bardziej uniwersalnej teorii ewolucji radiogalaktyk. Taka hipoteza została przedstawiona przez Liu (2004) oraz Liu i in. (2003). W scenariuszu tym struktura w kształcie litery “X” powstaje wówczas, gdy w wyniku zderzenia galaktyk powstaje układ podwójny super masywnych czarnych dziur. Ponieważ orbita przybyłej czarnej dziury ustawiona jest losowo względem dysku, dysk akrecyjny wokół pierwotnej czarnej dziury na skutek oddziaływania grawitacyjnego będzie ulegał zakrzywieniu i ustawieniu wzdłuż płaszczyzny orbity obiegającej czarnej dziury. Oddziaływanie przekrzywionego dysku z pierwotną czarną dziurą spowoduje zmianę osi dżetu, a tym samym zaskutkuje powstaniem struktury o morfologii “X”. Dalsze oddziaływanie i wymiana momentu pędu z dyskiem galaktycznym powodować będzie powolną zmianę płaszczyzny orbity układu czarnych dziur i ułożenie jej zgodnie z płaszczyzną dysku galaktycznego. Orbita ulegać będzie teraz zacieśnianiu, a gdy czarne dziury znajdą się wystarczająco blisko siebie ciśnienie grawitacyjne doprowadzi do powstania wyrwy w dysku akrecyjnym pierwotnej czarnej dziury. Dalsze oddziaływanie prowadzi do zlania się czarnych dziur. Upřednio powstała wyrwa w dysku przekształci się w dziurę, i zniknie wewnętrzna część dysku akrecyjnego, tym samym prowadząc do przerwy w aktywności dżetu. Dżety zostaną ponownie zasilone, gdy materia osiągnie po raz kolejny ostatnią stabilną orbitę. Proces ten jest jednak długotrwały, więc “stare” tunele dżetu ulegną zapadnięciu. Nowopowstałe dżety będą musiały wydrążyć na nowo drogę w ośrodku międzygalaktycznym, a więc fronty szokowe będą formować się bliżej galaktyki macierzystej. Dżety te nie zmieniają kierunku propagacji w porównaniu do starej struktury, gdyż osie rotacji czarnych dziur przed ich zlaniem były takie same. Taka galaktyka będzie dalej ewoluować prawdopodobnie, jako zwykła radiogalaktyka typu FR I.

Jak wynika z przedstawionego rozumowania radioźródła o morfologii “X” powinny powstawać w czasie krótszym po zderzeniu galaktyk, niż obiekty o morfologii podwójno-podwójnej. Przy wykorzystaniu narzędzia dekompozycji galaktyk, powinniśmy być w stanie zaobserwować w ich rezyduach ślady struktur pozostałych po zderzeniach. Struktury te będą ulegały relaksacji wraz ze zwiększającym się czasem od zderzenia.

Dane obserwacyjne

W pracy tej wykorzystano dane pochodzące z archiwum teleskopu kosmicznego Hubble’a (<https://hla.stsci.edu/>). W badaniach tych wykorzystano dane pochodzące z kamery WFPC2-PC. Umożliwia ona obserwacje wąskiego pola $35'' \times 35''$, dając możliwość rozdzielania szczegółów o rozmiarach $0''.046$, co odpowiada rozmiarowi jednego piksela.

Wybór WFPC2 jako instrumentu był zatem naturalny, gdyż umożliwia dostrzeżenie najdrobniejszych dostępnych do obserwacji elementów struktury.

Tabela 1: Lista wyselekcjonowanych obiektów wykorzystanych w dalszej analizie, wraz ich podstawowymi parametrami.

Lista obiektów o morfologii w kształcie litery "X"

Nazwa	RA	DEC	z	rozmiary kątów
3C 63.0	02 20 54.3	-01 56 51	0.175	0.25 0.17
3C 136.1	05 16 03.133	+24 58 25.47	0.064	0.517 0.289
3C 192.0	08 05 35.026	+24 09 50.80	0.059	0.353 0.311
3C 223.1	09 41 24.034	+39 44 41.87	0.107	0.263 0.184
3C 315.0	15 13 39.983	+26 07 23.70	0.108	0.213 0.213
3C 379.1	18 24 33.061	+74 20 58.57	0.256	0.183 0.183
3C 403.0	19 52 15.820	+02 30 24.31	0.059	0.537 0.429
3C 433.0	21 23 44.582	+25 04 27.23	0.102	0.500 0.360
B2 0055+26	00 58 22.637	+26 51 58.61	0.048	1.520 0.882
B2 1204+34	12 07 32.930	+33 52 40.13	0.079	0.427 0.282
B2 1422+26	14 24 40.536	+26 37 30.39	0.037	0.827 0.595
B2 1457+29	14 59 41.909	+29 03 31.64	0.146	0.303 0.231

Lista obiektów o morfologii podwójno-podwójnej

Nazwa	RA	DEC	z	rozmiary kątów
3C 303.0	14 43 02.7607	+52 01 37.2982	0.141	0.340 0.238
3C 76.1	03 03 16.90	+16 26 03.9	0.032	-
3C 219.0	09 21 08.6218	+45 38 57.268	0.175	0.370 0.296
3C 236.0	10 06 01.7315	+34 54 10.434	0.099	0.453 0.308
3C 293.0	13 52 17.765	+31 26 46.10	0.045	0.903 0.542
3C 310.0	15 04 57.121	+26 00 58.48	0.054	0.389 0.389
3C 315.0	15 13 39.983	+26 07 23.70	0.108	0.213 0.213
3C 317.0	15 16 44.487	+07 01 18.00	0.034	1.953 1.367
3C 338.0	16 28 38.276	+39 33 04.97	0.031	1.807 1.301
3C 348.0	16 51 11.4	+04 59 20	0.155	0.407 0.281
3C 388.0	18 44 02.417	+45 33 29.81	0.091	0.690 0.469
3C 424.0	20 48 12.1	+07 01 17	0.126	-

Lista obiektów o klasycznej morfologii typu FR II

Nazwa	RA	DEC	z	rozmiary kątów
3C 198.0	08 22 32.0	+05 57 07	0.081	0.29 0.21
3C 223.0	09 39 52.761	+35 53 58.91	0.137	-
1 3C 284.0	13 11 04.662	+27 28 07.04	0.239	0.247 0.247
3C 277.3	12 54 12.052	+27 37 34.15	0.086	0.413 0.306
3C 296.0	14 16 52.928	+10 48 26.43	0.025	1.627 1.301
NGC4261	12 19 23.216	+05 49 29.69	0.007	2.780 2.391
NGC4839	12 57 24.353	+27 29 51.80	0.024	2.020 1.414
B2 0755+37	07 58 28.108	+37 47 11.80	0.041	1.209 1.006
B2 0908+37	09 11 53.8	+37 24 14	0.105	-
B2 1455+28	14 57 53.84	+28 32 18.86	0.141	0.297 0.225

Analizę przeprowadzono dla trzech próbek obiektów: radiogalaktyk o morfologii "X", podwójno-podwójnych oraz radiogalaktyk o klasycznej morfologii typu FR II. Lista obiektów o morfologii radiowej "X" utworzona była z wykorzystaniem listy kandydatów przedstawionej przez Cheunga (2007) w ramach przeglądu FIRST oraz Roberts'a i in. (2015) przy wykorzystaniu teleskopu VLA. Dla tak sporządzonej listy obiektów wyselekcjonowano te, które posiadały dostępne dane w publicznym archiwum teleskopu Hubble'a. Próbkę radiogalaktyk o morfologii podwójno-podwójnej została utworzona z wykorzystaniem listy obiektów podanej przez Kuźmicz i in. (2017).

Analizie została poddana również próbka radiogalaktyk typu FR II. Spośród listy obiektów o tej morfologii podanej przez Koziel-Wierzbowską i Stasińską (2011) wybrano te, dla których przeprowadzono obserwacje za pomocą HST, dalej zostały wykluczone z tej próbki radiogalaktyki, których struktura radiowa była zaburzona i pozostawiono tylko ” klasyczne” radioźródła typu FR II. Lista wyselekcjonowanych obiektów została przedstawiona w tabeli 1.

Opis metody

Do analizy danych wykorzystano program GALFIT [10], który umożliwia dwu wymiarową dekompozycję profilu jasności galaktyki. Program dopasowuje modelowe profile jasności przy założeniu symetrii względem centrum. Program wykorzystuje algorytm Levenberga-Marquardta do minimalizacji χ^2 przy dopasowaniu zdefiniowanych profili jasności. Przy tworzeniu modeli program uwzględnia również funkcję PSF dostarczoną przez użytkownika. W pracy tej wykorzystano syntetyczne PSF, wygenerowane za pomocą programu TinyTim (<http://www.stsci.edu/hst/observatory/focus/TinyTim>) (Krist i in. 2010, Krist i in. 2011).

Celem tej pracy było zbadanie struktur powstałych przez odjęcie ogólnego profilu jasności, toteż w dopasowaniach tych przyjęto zasadę utrzymywania dopasowania tak prostym jak to możliwe. Dopasowywano zatem tylko profile Sersic’a celem odjęcia profilu halo oraz profilu Gaussa, celem odjęcia profilu jasności punktowego aktywnego jądra galaktycznego. W niektórych przypadkach zachodziła konieczność uwzględnienia wielu profili Gaussa i/lub Sersic’a, gdy liczne składniki, np. wielokrotne jądra, były widoczne.

Dopasowywane były parametry takie jak indeks Sersic’a, promień efektywny, jasność absolutna, eliptyczność, kąt pozycyjny oraz położenie centrum profilu, z czego ograniczenie na trzy ostatnie parametry zostało uzyskane przez dopasowanie profili z wykorzystaniem polecenia ellipse w pakiecie STSDAS dostępnym w programie IRAF (<http://iraf.noao.edu/>).

W dalszym badaniu skupiono się głównie na analizie reziduum powstałego przez odjęcie dopasowanego modelu splecionego z funkcją PSF instrumentu i odjęcie go od obrazu rzeczywistego galaktyki.

Omówienie wyników

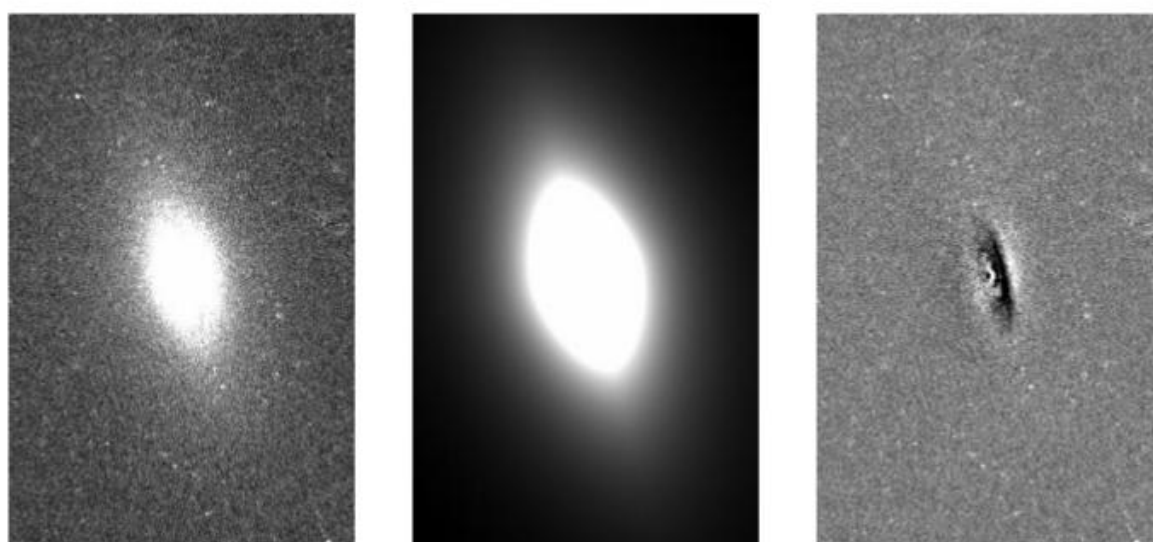
W pracy tej przeprowadzono analizę dla 12 radiogalaktyk o morfologii w kształcie “X”, dwunastu radiogalaktyk podwójno-podwójnych oraz próbki 10 radiogalaktyk o klasycznej niezaburzonej morfologii typu FR II.

Z uwagi na obszerność uzyskanych danych, w pracy tej zdecydowano się skupić tylko na otrzymanych wnioskach. Osoby zainteresowane szczegółowymi wynikami autorka odsyła do innych przez nią napisanych opracowań.

W rezyduach otrzymanych dla radiogalaktyk o morfologii “X” widoczne są uporządkowane struktury przypominające ślady po dysku lub ramionach spiralnych. Często widoczne jest oddziaływanie tych galaktyk z innymi galakty-

kami. Dla radiogalaktyk o morfologii podwójno-podwójnej otrzymano natomiast gładkie rezydua, jeżeli struktura pyłowa była widoczna, tworzyła ona nieregularne struktury, niedające się zidentyfikować jako część pozostałości po dysku galaktycznym. Nie widać wyraźnych śladów oddziaływania tych galaktyk z innymi galaktykami w gromadzie. Jedyne wyjątek stanowi tutaj obiekt 3C 293.0, który posiada silnie zaburzoną morfologię optyczną, prawdopodobnie świadcząca o zaszłym niedawno zderzeniu galaktyk, tzw. *major merger*.

4.1.3 3C 192.0



funkcja	x_0	y_0	M_{tot}	R_{eff}	n	q	PA	c
sersic	509.26	475.25	19.76	104.48	7.56	0.99	18.40	-0.74
	0.13	0.13	0.21	46.48	1.24	0.18	1.92	0.11
gaussian	507.73	474.51	22.38	19.01		0.31	13.70	
	0.26	0.70	0.10	1.16		0.02	2.21	
sersic	508.36	475.31	18.91	77.99	1.94	0.49	15.73	
	0.18	0.28	0.08	1.19	0.09	0.01	0.26	
Chi^2/nu	0.473							

Ryc. 1. Wynik analizy profilu jasności dla przykładowej radiogalaktyki o morfologii "X". Przedstawiono odpowiednio od lewej: dane obserwacyjne, dopasowany model oraz otrzymane rezydium.

Rezydua radiogalaktyk o klasycznej morfologii typu FR II nie uwidoczniają struktur, poza pyłowym torusem, który jest wyraźnie widoczny w rezydualach pobliskich obiektów. Obecność pyłowego torusa, nie jest niczym niespodziewanym w kontekście obecnie przyjętego modelu aktywnego jądra galaktycz-

nego. Ponadto z dopasowanych parametrów profili Sersic'a wynika, że te obiekty są bardziej zdominowane przez dysk, z indeksem Sersic'a $n \approx 1$. Istnienie takich profili dla analizowanych radioźródeł typu FR II wydaje się wskazywać, iż galaktyki te nie przeszły zderzeń, o czym świadczą też otrzymane gładkie rezydua.

4.2.4 3C 236.0



funkcja	x_0	y_0	M_{tot}	R_{eff}	n	q	PA	c
sersic	482.89	464.65	17.25	1130.27	8.50	0.72	43.92	
	0.06	0.06	0.15	292.60	0.49	0.00	0.40	
gaussian	482.74	468.66	21.35	68.45		0.28	52.94	
	0.54	0.42	0.03	1.47		0.01	0.54	
Chi^2/nu	0.464							

4.2.5 3C 293.0



Ryc. 2. Wynik analizy profilu jasności dla przykładowej radiogalaktyki o morfologii podwójno-podwójnej. Opis analogiczny do Ryc. 1.

4.3.5 3C 296.0



funkcja	x_0	y_0	M_{tot}	R_{eff}	n	q	PA	c
sersic	427.48	437.36	15.33	46.46	0.68	0.71	-33.47	0.20
	0.02	0.02	0.02	0.35	0.01	0.00	0.11	0.01
sersic	427.88	437.80	17.93	13.63	0.39	0.88	-46.91	
	0.03	0.03	0.03	0.07	0.01	0.00	1.41	
Chi^2/nu	0.015							

Ryc. 3. Wynik analizy profilu jasności dla przykładowej klasycznej radiogalaktyki typu FR II. Opis analogiczny do Ryc. 1.

Wnioski

Z uzyskanych wyników otrzymanych przez dopasowanie dwuwymiarowych profili jasności zdaje się wynikać, iż powstawanie struktur typu “X” oraz podwójno-podwójnych można wyjaśnić na gruncie wspólnej ścieżki ewolucyjnej. Analiza rezydium oraz analiza dopasowanych profili jasności wskazuje, iż niezaburzone galaktyki typu FR II mogą na skutek zaszłego zderzenia centralnego z inną galaktyką przekształcić się w radioźródło o morfologii “X”. Z upływem czasu galaktyka ewoluuje, a struktury pyłowe ulegną relaksacji. Wówczas może dojść do przerwy w aktywności dżetu na skutek zlewania się super masywnych czarnych dziur. Otrzymane wnioski zdają się potwierdzać hipotezę przedstawioną przez Liu (2004) oraz Liu in. (2003). Tak powstała galaktyka będzie ewoluowała dalej i przekształci się z czasem w radioźródło typu FR I.

Literatura

- [1] Fanaroff B. L., Riley J. M., 1974, MNRAS 167, 31P
- [2] Gopal-Krishna, Biermann P. L., Gergely L. Á., Wiita P. J., 2012, Research in Astronomy and Astrophysics 12,127
- [3] Schoenmakers A. P., de Bruyn A. G., Röttgering H. J. A., van der Laan H., Kaiser C. R., 2000, MNRAS 315, 71
- [4] Liu F. K., 2004, MNRAS 347, 1357

- [5] Liu F. K., Xue-Bing Wu, Cao S. L., 2003, MNRAS 340, 411
[6] Cheung C. C., 2007, ApJ 133, 2097
[7] Roberts D. H., Cohen J. P., Lu J., Saripalli L., Subrahmanyan R., 2015, ApJ Supplement Series 220, 32
[8] Kuźmicz A., Jamrozy M., Kozieł-Wierzbowska D., Weźgowiec M., 2017, MNRAS (w druku)
[9] Kozieł-Wierzbowska D., Stasińska G., 2011, MNRAS 415, 1013
[10] Peng C. Y., Ho L. C., Impey Ch. D., Rix H.-W., 2002, ApJ 124, 266
[11] Krist J. E., Hook R. N., Stoehr F., 2011, Proc. of the SPIE 8127 (id. 81270J)
[12] Krist J., Hook R., Stoehr F., 2010, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1010.057
[13] Wójtowicz A., Kozieł-Wierzbowska D., 2018, MNRAS (w druku)



Agata Kołodziejczyk wprowadza grupę analogowych astronautów do habitatu *Lunares* w Pile.