

O fotografowaniu analemy

Słoneczna ósemka zamknięta w puszcze

Łukasz Fajfrowski
Maciej Zapiór

Jeżeli z tego samego punktu na Ziemi będziemy codziennie, o tej samej godzinie zegarowej rejestrować pozycję Słońca, to w ciągu roku powstanie krzywa zamknięta w kształcie niesymetrycznej ósemki. Nazywamy ją analemą.*

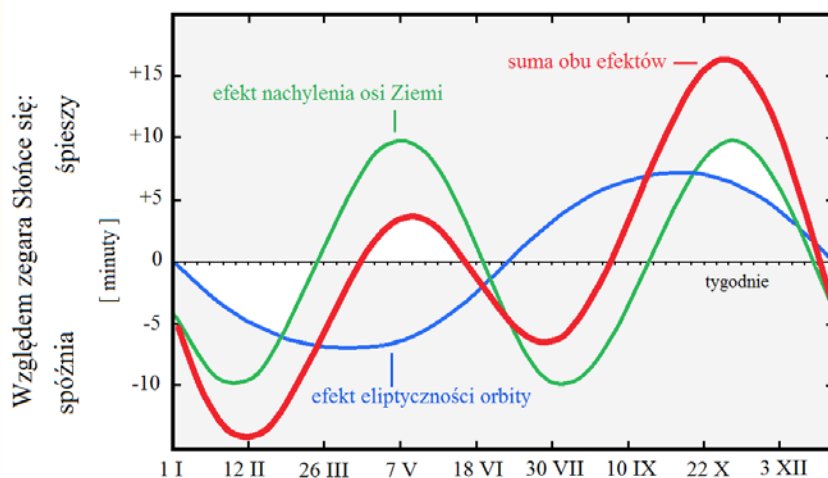
Skąd ta ósemka? Przesunięcie „góra — dół” znajduje wyjaśnienie w nachyleniu osi obrotu Ziemi względem płaszczyzny ekliptyki. W lecie Słońce znajduje się znacznie wyżej niż w zimie o tej samej porze. Wyjaśnienie przesunięcia „lewo — prawo” czy raczej „wschód — zachód” jest już bardziej skomplikowane.

Nasze zegarki wskazują czas strefowy średni. To, że jest on strefowy (czyli południka 15°E zimą i 30°E latem), nie ma znaczenia. Ważny jest przymiotnik „średni”. To miara odległości od południka tzw. „słońca średniego” — teoretycznego punktu, który jednostajnie przesuwać się po równiku niebieskim, obiega go w ciągu roku. Tymczasem prawdziwe Słońce porusza się po ekliptyce nachylonej do równika pod kątem 23,5°. Już z tego powodu „słońce średnie” i prawdziwe tylko 4 razy w roku przechodziłyby przez południk jednocześnie: w dniach przesileni i równonocy, ale jest dodatkowa komplikacja. Orbi-

ta Ziemi nie jest okręgiem, ale elipsą i zgodnie z II prawem Keplera jej prędkość liniowa na orbicie nie jest stała. W peryhelium (w pierwszych dniach stycznia) porusza się najszybciej, zaś w aphelium (w pierwszych dniach lipca) najwolniej. Odbiciem tego na niebie jest niejednostajny bieg Słońca po ekliptyce. Złożenie obu tych efektów powoduje, że czas prawdziwy biegnie niejednostajnie — zegary słoneczne mogą spieszyć się lub późnić nawet do 16 minut. Różnicę pomiędzy czasem prawdziwym (wskazywanym przez zegary słoneczne) a średnim (zegarkowym) nazywamy „równa-

niem czasu” (rys. niżej), a analema jest jego odbiciem na niebie.

Gdyby więc orbita Ziemi była okręgiem i oś jej obrotu była prostopadła do płaszczyzny orbity, to analema byłaby pojedynczym punktem. Gdyby oś obrotu była nachylona pod pewnym kątem do płaszczyzny orbity (tak, jak jest), ale orbita Ziemi wciąż była okręgiem, to analema byłaby symetryczną ósemką. Kiedy połączymy fakt nachylenia osi obrotu Ziemi i eliptycznego kształtu jej orbity, to w rezultacie dostaniemy wielką, asymetryczną ósemkę na sferze niebieskiej. Jej rozpiętość w pionie wynosi 47°, zaś w poziomie niecałe 8°.



* W greckim oryginale tego słowa występuje podwójne „μμ”. Jednak dla Autorów nie jest to słowo odświeżone, lecz codzienne, dziesiątki razy odmieniane przez wszystkie przypadki. Dlatego je spolonizowali, zgodnie z duchem naszego języka pomijając jedno „m”. I niech tak zostanie. Przecież już dawno to samo zrobiliśmy np. z łacińską „summa”. (przyp. red.)

Przygotowania

Na pomysł, żeby sfotografować analemę metodą solarygraficzną (patrz: „Urania” 3/2013, s. 20) wpadliśmy jesienią 2012 r. Było coś ekscytującego w tym, że mniej więcej tyłu samo ludzi stąpało po powierzchni Księżyca, co z sukcesem sfotografowało analemę (w latach 2013–2014 nastąpił swoisty wysyp zdjęć analem na całym świecie). Dodatkowo nikt wcześniej nie zrobił tego metodą solarygraficzną. Przypomnijmy krótko: rolę kamery spełnia tu jakikolwiek szczelny pojemnik, w którego boku robimy małe otworki — to nasz „obiektyw”. Wewnątrz, naprzeciwko otworka umieszczamy czarno-biały papier fotograficzny. Mocujemy „kamerę”, odsłaniamy otworki i... po pewnym czasie wyjmujemy ze środka gotowe zdjęcie, nie wymagające żadnej obróbki chemicznej. Po szczegóły odsyłamy do wspomnianego artykułu w „Uranii”.

Wydało nam się to na tyle ambitnym wyzwaniem, że zaczęliśmy intensywnie szukać sposobu automatycznej rejestracji tego zjawiska. Automatycznej, gdyż ręczne otwieranie i zamykanie przesłony nie wchodziło w grę z powodu obowiązków zawodowych i zwyyczajnego braku czasu.

Wkrótce podzieliliśmy się zadaniem: Maciek, obok głównej idei wymyślił sekwencję naświetlań, zbudował kamerki i zrealizował konstrukcję mechaniczną układów. Zajął się też obróbką graficzną otrzymanych negatywów. Łukasz był odpowiedzialny za elektroniczną część projektu: zbudował układ sterujący przesłonami, opracował algorytm programu mikrokontrolera (nie wielkiego procesora), a po wyjeździe Maćka w maju 2013 r. na staż podoktorski, prawie przez rok doglądał realizacji projektu.

Na ostateczny pomysł konstrukcji układów sterujących wpadliśmy po kilku miesiącach poszukiwań, prób i błędów. Po drodze odrzuciliśmy kilka mniej udanych koncepcji. Jedną z pierwszych prób polegała na zastosowaniu zwykłego mechanizmu zegarowego. Zamiast wskazówek użyliśmy ich „dopełnienia”, tzn. nałożyliśmy na oś zegara ciemną tarczę ze szczeliną. Rejestracja obrazu następowała w momencie, gdy szczelina znalazła się na wprost otworka kamery; takie ustawienie trwało ok. 5 minut. Wkrótce zbudowaliśmy dwie kamerki z opisanym



mechanizmem i ustawiliśmy je na balkonie. Prawie natychmiast ujawniły się problemy związane z takim rozwiązaniem. Po pierwsze, trudności związane z precyzyjnym korygowaniem czasu. Po drugie, w jednej kamerce tarcie między tarczą a korpusem powodowało duże opóźnienia, a ostatecznie doprowadziło do zatrzymania tarczy. Dodatkowo w tym układzie niemożliwe byłoby doświetlanie zdjęcia rano i wieczorem — do tego zagadnienia powrócimy w dalszej części tekstu.

Ostatecznym powodem rezygnacji z takiego rozwiązania był fakt, że podczas jednej wietrznej nocy odleciały obie tarcze. Należało zatem znaleźć inne rozwiązanie.

Jak to działa?

Zdjęcia rejestrowaliśmy jednocześnie trzema kamerami. Jeśli chodzi o mechanikę, to poszliśmy dwiema drogami. W jednej z kamer otworki otwierało i zamykało specjalne ramię poruszane elektromagnesem. W dwóch pozostałych użyliśmy obrotowej tarczy, solidnie zamocowanej na osi silnika krokowego (wymontowanego ze starej drukarki), przymocowanego na szczycie puszek. Pierwsza metoda jest dużo łatwiejsza w realizacji, jednak jest mniej elastyczna i bardziej energochłonna.

Pozostało rozwiązać problem sterowania takim urządzeniem o zadanej porze. Na pomoc przyszła elektronika.

Użyliśmy dostępnych w sklepach wyłączników programowalnych.

W pierwszym rozwiązaniu owe wyłączniki podawały prąd na elektromagnes, który odsłaniał otworki kamerek. Po ustaniu przepływu prądu sprężyna odciągała ramię do pierwotnej pozycji.

Dużo ciekawsze z punktu widzenia elektroniki było sterowanie drugim układem. W największym skrócie wyglądało to następująco: o zadanej godzinie wyłącznik programowalny podawał prąd, który „budził” mikrokontroler i silnik. Mikrokontroler zaczynał realizować program, czyli podawał sygnały sterujące silnikiem najpierw w lewo, a po niecałej minucie w prawo. Program mikrokontrolera został napisany w assemblerze i wgrany za pomocą programatora.

Wyłączniki programowalne nie okazały się rozwiązaniem idealnym, ponieważ gubiły ok. 5 s na tydzień i należało je ręcznie synchronizować, mniej więcej raz na 10 dni.

W dwóch kamerkach zdecydowaliśmy się rejestrować analemę trzy razy dziennie przez ok. 60 s. Wybraliśmy godziny: 10.30, 12.00, i 13.30. Gdybyśmy naświetlali tylko w opisanych momentach czasu, wówczas zarejestrowałyby się tylko analemy i nic więcej, a nam zależało również na uwiecznieniu widoku, który byłby sceną sfotografowanego spektaklu. Należało zatem doświetlić obraz, ale w taki sposób,

aby nie przeszkadzało to we właściwej rejestracji.

Postanowiliśmy zatem doświetlać zdjęcia od godziny 6.00 do 8.00, a następnie wieczorem od 16.00 do 18.00. Gwarantowało to, że Słońce nie wejdzie w kadr, ale będzie go doświetlać z boku. Oczywiście ta metoda jest skuteczna jedynie od wiosny do jesieni. Mimo to zyskaliśmy wiele cennego światła.

W trzeciej kamerce zastosowaliśmy naświetlanie bez przerwy aż do godziny 11.00. Następnie do godziny 12.00 zamykaliśmy przesłonę. Ponownie otwieraliśmy ją o godz. 12.00 na jedną minutę. Zamykaliśmy ją potem do godziny 13.00, po czym następowało otwarcie aż do późnych godzin wieczornych.

Zastosowanie silników krokowych wymagało wymyślenia nowego sposobu montowania puszek: zrealizowaliśmy to za pomocą metalowych obejm przymocowanych do poręczy barierki balkonowej (fot. niżej).

Realizacja

Podczas realizacji projektu przez cały rok posługiwaliśmy się czasem zimowym. Gdybyśmy w trakcie eksperymentu przeszli na czas letni, to część analemy przesunęłaby się o 15°.

Mimo wszystkich przygotowań, urzeczywistnienie naszego przedsięwzięcia nie było proste. Po drodze czekało na nas kilka przeszkód. Szczególnie zapadło nam w pamięć lutowanie przewodów przy silnikach i elektromagnesie w temperaturze ok. -10°C, przy świetle latarki rowerowej. Nie należało to do przyjemności. Jednak 15 lutego 2013 r. byliśmy już gotowi — układy ruszyły. Niestety pogoda kompletnie



nam nie sprzyjała. Przez całą drugą połowę lutego niebo było całkowicie zachmurzone. Zdecydowaliśmy się więc przesunąć start projektu na 1 marca, bo wtedy Słońce po raz pierwszy wyszło zza chmur.

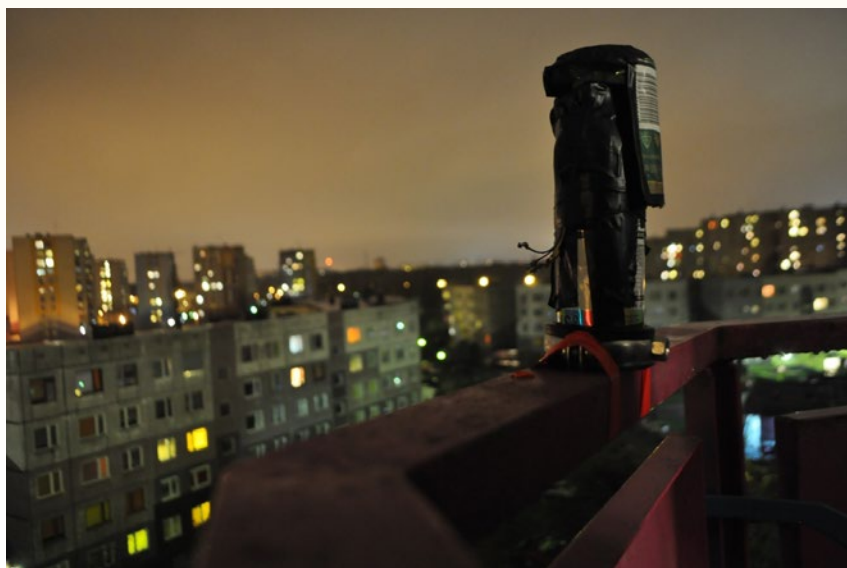
Inną przeszkodą był upadek jednej z puszek na podłogę balkonu podczas mocowania. Na szczęście upadła na blokadę silnika. Blokada wzięła na sie-

bie całą energię uderzenia i pękła. Za to ocalała silnik i puszkę. Blokadę udało się błyskawicznie wymienić.

Dużym problemem było znalezienie dobrego wzorca czasu, z powodu wspomnianego „dryfu” wyłączników programowalnych. Na szczęście już kilka dni po starcie udało się zsynchronizować komputer z serwerem czasu. Od tej pory godzina komputerowa była dla nas momentem odniesienia.

Po kilku dniach okazało się, że moment obrotowy silnika jest na tyle duży, iż przesłona ślizga się na osi. Skoro tarcie nie wystarczało, przykleiliśmy przesłonę do osi. Zanim się to wydało, minęło kilka dni, stąd kilka ciągłych linii na jednym ze zdjęć.

Układy pracowały już ponad 4 miesiące, gdy pojawiło się ogłoszenie ze spółdzielni mieszkaniowej o remoncie balkonów i wymianie barierki. Padł na nas błdy strach, gdyż kamarki umieściliśmy właśnie na barierce. Każde poruszenie kamerek oznaczałoby przedterminowy koniec projektu. Przez 28 lat nic z barierkami nie robiono i akurat wtedy, kiedy przeprowadzali-



śmy eksperyment, spółdzielnia zainteresowała się nimi. Na szczęście po wizycie fachowca okazało się, że barierki są w porządku i projekt ocalał.

Późną jesienią popsuł się jeden z wyłączników programowalnych. Wyszło to na jaw po kilku dniach. Podczas weekendu (akurat była wyjątkowo ładna pogoda) Łukasz wychodził na balkon i otwierał, a następnie zamykał przesłonę jednej z kamerek o zadanej godzinie. Zaraz po niedzieli udało się kupić nowy wyłącznik i projekt ruszył dalej.

W pierwszej dekadzie grudnia przeszedł orkan Ksawery. Aby zwiększyć bezpieczeństwo kamerek i zmniejszyć prawdopodobieństwo ich poruszenia, dodatkowo wzmocniliśmy mocowanie. Kamery przetrwały.

Emocje

Po każdej takiej przygodzie następowała nerwowa wymiana listów pocztą elektroniczną. Łukasz kilka razy był bliski załamania, na szczęście Maciek, który dzięki dużej odległości nie był tak mocno z tym związany emocjonalnie, wydobywał Łukasza z „dołka” i dawał mu zastrzyk energii.

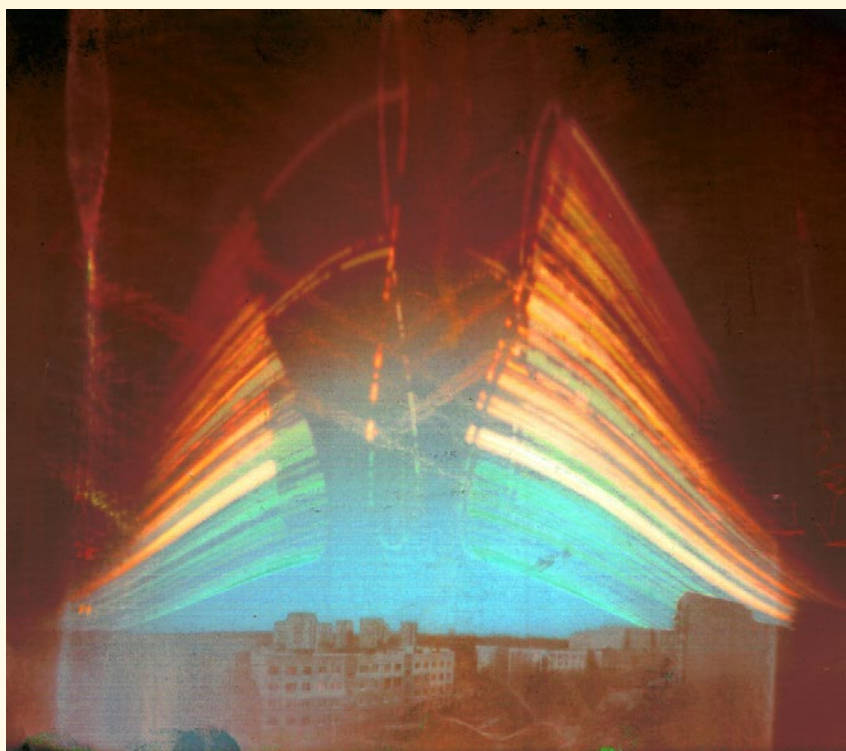
Równie denerwujące było oczekiwanie w niepewności na rezultaty. Odliczanie kolejnych miesięcy. Oczywiście najbardziej dłużył się ostatni miesiąc, zaś ostatnie dni i godziny, a zwłaszcza minuty, były istną torturą. Niezapomniane było również tych kilka chwil podczas otwierania puszek drżącymi rękami. Do samego bowiem końca nie mogliśmy być pewni rezultatu. Po drodze mogło wystąpić wiele niespodziewanych czynników, które by zniweczyły cały nasz roczny wysiłek.

Po otwarciu puszek ulga i poczucie spełnienia były nie do opisania.

Aby nie siedzieć z założonymi rękami, pod koniec realizacji przedsięwzięcia zaczęliśmy budować stronę internetową, mającą opisać nasze przygody i zaprezentować nasze osiągnięcie. Można ją znaleźć pod adresem: www.analema.pl

Sukces!!!

Jeśli coś ma się nie udać — nie uda się, głosi prawo Murphy’ego. Właśnie dlatego skonstruowaliśmy trzy niezależne układy rejestrujące i otrzymaliśmy trzy różne zdjęcia. Z tych trzech najlepsze okazało się zdjęcie prezentowane na s. 23. Widać na nim trzy analemy eksponowane o godzinach 10.30, 12.00



i 13.30. Niestety dwie pierwsze nie są w pełni widoczne z powodu ograniczonego pola widzenia kamery solarygraficznej. Podobny problem miał autor pierwszej zarejestrowanej analemy na świecie, Dennis di Cicco w 1978 roku (*Sky & Telescope*, 1979). Na szczęście zdecydowaliśmy się naświetlać trzy analemy w ciągu dnia i całkowicie widać tę z 13.30. Pozostałe dwa zdjęcia (fot. na s. 24 i wyżej) są trochę gorszej jakości. Nie mają wysokiego kontrastu i wyrazistych kolorów.

Po publikacji zdjęć reakcja mediów i internetu przerosła nasze oczekiwania. W największym skrócie były to: publikacja jednego ze zdjęć na portalu internetowym *Astronomy Picture of the Day* (20 III 2014 r.), notatki prasowe (m.in. w *New Scientist*) i internetowe na różnych portalach (m.in. *The World at Night*) oraz różne informacje radiowe, prasowe i telewizyjne. W końcu zaś, jako przysłowiowa wisienka na torcie — „Urania”.



Mgr Łukasz Fajfrowski (na zdjęciu po prawej) jest fizykiem. Pracuje w Międzynarodowym Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur PAN we Wrocławiu, gdzie zajmuje się pomiarami własności transportowych i magnetycznych ciał stałych. Solaryografią para się od dwóch lat.

Dr Maciej Zapiór (po lewej) w styczniu 2013 r. ukończył studia doktoranckie na Uniwersytecie Wrocławskim, w trakcie których badał przestrzenne ruchy materii w protuberancjach słonecznych. Obecnie przebywa na stażu w Hiszpanii, na Uniwersytecie Wysp Balearskich w Palma de Mallorca. Solaryografią zajmuje się od 9 lat.