
Z twierdzy Barad-Dûr, Pan Mordoru widzi wszystko. Jego wzrok przenika chmury, cienie, lądy i ciała. Wiesz o kim mówię Gandalfie. Wielkie oko bez powieki, okolone ogniem [...]

J.R.R. Tolkien

Wielkie oko – nowe okno na Wszechświat

Jakub Janiec*

Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, PAN**

Abstrakt. W momencie pisania tego tekstu świat z niecierpliwością spoglądał na niebo zastanawiając się, czy aby na pewno się uda? Lata opóźnień, problemy techniczne, nawet rozłożenie i ponowne złożenie całego urządzenia, aby upewnić się, że wszystko jest na miejscu i działa tak jak powinno. Kosmiczny teleskop im. Jamesa Webba przysporzył nam wiele problemów, nerwów oraz odpowiedzialny jest za niejedną siwy włos. W końcu nadszedł ten wielki dzień 25.12.2021!...

Słowa kluczowe: teleskop Jamesa Webba, astrobiologia, nowe technologie, astronomia, Wszechświat, pierwsze galaktyki, pierwsze gwiazdy, podczerwień

Abstract. At the moment of writing this article, the world was looking up nervously asking itself *Will it'll be all right?*. Years of delay, technical issues. Even disassembly and assembly again and all this to make sure that everything will work as it should. James Webb Space Telescope is responsible for many sleepless nights and gray hairs. Yet, here we are, the big day 25 December 2021!...

Keywords: James Webb Telescope, astrobiology, new technologies, astronomy, Universe, first galaxies, first stars, infrared

Teleskop im. Jamesa Webba¹ (ang. James Webb Space Telescope, w skrócie JWST) w liczbach:

- koszt: 10 mld USD
- masa: 6500 kg
- lustro: 6,5 m (średnicy)
- rozmiar taraczy słonecznej: 21 m × 14 m
- “zasięg”: 13,5 mld lat świetlnych
- czas poświęcony na konstrukcję: 40 mln roboczogodz.
- planowany czas eksploatacji: 5 lat (z możliwym wydłużeniem do 10)
- zasilanie: panele słoneczne (2 kW)
- w budowie JWST brało udział 14 krajów

*ORCID: 0000-0001-7046-7165

**Biofizyk molekularny, astrobiolog, cytometrysta, niedoszły astronauta. Współzałożyciel i jeden z pomysłodawców powstawania Polskiego Towarzystwa Astrobiologicznego. W ramach popularyzacji nauki tworzył i wykladał na “Spotkaniach z Nauką” organizowanych przez Uniwersyteckie Towarzystwo Naukowe (Uniwersytet Śląski, Katowice), uczestniczył w wydarzeniach takich jak Piknik Naukowy Polskiego Radia czy Noc Biologów. W wolnych chwilach projektuje i prowadzi zajęcia w BioCentrum Edukacji Naukowej. Jego zainteresowania naukowe są związane z biofizyką komórki i błony komórkowej, krystalografią i oczywiście astrobiologią. Obecnie pracuje w Instytucie im. M. Nenckiego PAN w Warszawie.

1. James Edwin Webb (1906-1992) administrator NASA odpowiedzialny m.in. za program Apollo w latach 1961-1969.

Dlaczego cały świat okołoastronomiczny z taką cierpliwością czekał na wysłanie kolejnego *Wielkiego oka* w przestrzeń kosmiczną?

Chcąc na to pytanie odpowiedzieć, trzeba się trochę cofnąć w czasie. Wszystkim nam jest znany kosmiczny teleskop Hubble’a. Legendarny wręcz instrument optyczny, który pomógł nam poznać Wszechświat i ukazał cuda, o których nie śnili najwybitniejsi malarze czy poeci. Feeria barw i różnorodność kształtów to tylko ułamek tego, co dostarczył nam teleskop Hubble’a. Od 1990 roku (nie bez problemów) wytrwale pracuje w bardzo wąskim zakresie promieniowania widzialnego, aby dostarczać nam danych o Wszechświecie.

Obok teleskopu Hubble’a mamy jeszcze teleskop Spitzera, który rozpoczął obserwacje w 2003. Jego lustro jest prawie 2,5 x mniejsze oraz pracuje w zakresie podczerwieni i mikrofal. Tak samo jak teleskop Hubble’a, dostarczył nam wielu bezcennych obserwacji. Najgłośniejszym odkryciem ostatniego czasu, dokonanym za pomocą Spitzera, było odkrycie systemu Trappist-1, w którym znajdują się egzoplanety (wiele z nich podobnych do Ziemi). Zaletą obserwacji w paśmie podczerwieni jest to, że promieniowanie przebija się przez chmury gazu i pyłu kosmicznego. Pozwala to na zaglądnienie w obszary, które nie

są dostępne dla teleskopu oglądającego świat w zakresie światła widzialnego.

Niestety, żadne urządzenie nie jest wieczne. W tym momencie teleskop Hubble'a liczy sobie już prawie 32 lata. (Staruszek nawet nosi okulary! Soczewki w kształcie chip-sów korygujące błąd w geometrii optyki powstały podczas składania urządzenia.) Jego misja ma się zakończyć między rokiem 2030 a 2040. Teleskop Spitzera będzie pracował jeszcze długie lata, jednak z powodu małego rozmiaru lustra (średnica 0,86 m) jego możliwości są ograniczone. Ilość światła zbieranego przez tak „niewielką” powierzchnię nie pozwala na obserwacje ciemniejszych, dalszych i tym samym starszych obiektów. Jak temu zaradzić?

To pytanie zadali sobie inżynierowie wraz z astronomami już w 1989 podczas warsztatów dotyczących teleskopów kosmicznych. Wtedy to ustalono, że jest potrzebny teleskop orbitalny, pracujący w zakresie podczerwieni. Dodatkowo uzgodniono, że średnica lustra powinna być większa niż 4 m (czyli 2× większa niż lustra teleskopu Hubble'a). Składano propozycje, tworzone projekty. Aż w końcu, w 2002 roku NASA ogłosiła rozpoczęcie prac nad nowym urządzeniem. Sama konstrukcja rozpoczęła się w 2004. Kosmiczny teleskop im. Jamesa Webba powoli zaczął stawać się faktem. Projekt tego obserwatorium pozwalał na spełnienie czterech głównych założeń misji:

- obserwacja promieniowania pochodzącego od pierwszych galaktyk formujących się we Wszechświecie (obiekty prawie 2 razy starsze i bardziej odległe niż dostrzegalne przez teleskop Hubble'a),
- obserwacja ewolucji galaktyk,
- obserwacje procesu formowania się gwiazd oraz układów planetarnych,
- obserwacje egzoplanet, ich atmosfer oraz poszukiwanie biosygnatur.

Cele ambitne i bardzo trudne do spełnienia. Jak zaprojektowano urządzenie, które pozwoli na tak wiele?

Teleskop Webba, podobnie jak teleskop Spitzera, będzie obserwował Wszechświat w podczerwieni. Ten zakres fal elektromagnetycznych pozwala na znacznie więcej niż światło widzialne. Dodatkową zaletą jest to, że każdy obiekt emitujący ciepło, emituje również promieniowanie podczerwone. No właśnie, każdy! W tym również Ziemia i Księżyc, nie wspominając o Słońcu. Biorąc pod uwagę zakładane rozmiary lustra w nowym teleskopie oraz czułość detektorów, obserwacje z niskiej orbity (do ok. 1500 km) mijałyby się z celem. Można by to porównać do obserwowania gwiazd przez teleskop rozstawiony pod bardzo jasną latarnią uliczną. Nic nie zobaczymy, a jeśli chcielibyśmy wykonać zdjęcie, to zostanie ono natychmiast prześwietlone. Jak temu zaradzić? Cóż,

trzeba poprosić o pomoc zespół inżynierów, chemików, fizyków oraz materiałoznawców. Oto kilka z głównych rozwiązań, które zastosowano:

Obserwatorium nie będzie orbitowało wokół Ziemi. Aby zminimalizować zanieczyszczenie promieniowaniem podczerwonym, jakie generuje nasza planeta, należy umieścić teleskop „nieco dalej”, a dokładniej o ok. 1,5 mln kilometrów dalej, w drugim punkcie Lagrange'a (pkt L2). Jednocześnie jest to z pięciu miejsc w Układzie Słonecznym w którym równoważą się siły oddziaływania pola grawitacyjnego Ziemi i Słońca. W pewnym sensie pełnią one rolę miejsc parkingowych w naszym Układzie Słonecznym. Pozwala to na utrzymanie teleskopu w częściowo osłabionym przez Ziemię świetle Słońca oraz w zasadzie rozwiązuje problem promieniowania samej Ziemi. Jednocześnie jest to na tyle blisko, że nie będzie problemu z zasięgiem i komunikacją z teleskopem. JWST z niewielką pomocą żyroskopów i silników pozycjonujących będzie tam orbitował po trajektorii *halo*.

Jednak samo usytuowanie teleskopu nie wystarczy, aby ograniczyć niechciane promieniowanie. Potrzebna jest tarcza.

Jest to chyba jeden z najbardziej rozpoznawalnych elementów teleskopu. Tarcza rozmiarów kortu do tenisa ma jedno i pozornie proste zadanie: zablokować promieniowanie słoneczne. Jednak jest to znacznie trudniejsze niż się wydaje. Pierwsze co może przyjść na myśl, to postawienie zwykłej, jednolitej i nieprzepuszczalnej dla światła bariery. Takie rozwiązanie ma trzy wady:

1. Byłaby ona niesłychanie ciężka, co bardzo utrudniłoby wysłanie teleskopu w przestrzeń kosmiczną.
2. Nawet jeżeli byłaby odpowiednio lekka to musiałaby być odpowiednio cienka. Gruba piankowa tarcza mogłaby się okazać zbyt krucha lub zbyt duża, aby poskładać ją do żądanych rozmiarów. Dodatkowo, jednolity materiał nagrzałby się i zacząłby emitować własne promieniowanie podczerwone, oślepiając teleskop. Można by zastosować aktywne chłodzenie tarczy, ale to byłoby związane z bardzo dużym poborem energii, znacznym zwiększeniem masy teleskopu oraz najpewniej wibracjami.
3. Taką tarczę trudno by było złożyć, a przecież musi być składana, aby zmieściła się do rakiety.

Mając na względzie wspomniane wyżej ograniczenia, zaproponowano inne rozwiązanie. Pięć warstw specjalnej folii pokrytej aluminium i krzemem. Odstęp oraz kąt między warstwami pozwalają na rozproszenie promieniowania, co prowadzi do tego, że każda kolejna warstwa nagrzewa się mniej niż poprzednia. Z 200 000 W, które docierają do pierwszej warstwy, niecały 1 W przedostaje się na drugą stronę całego systemu. Wszystko jednak ma swoją cenę. Składanie sztywnych powierzchni jest

proste. Jednak składanie folii tak, żeby zachowała się w sposób jakiego oczekujemy, to bardzo duże wyzwanie. Aby sobie zwizualizować ten problem, rozłóżcie kawałek nitki na stole. Następnie zacznijcie popychać jeden koniec w stronę drugiego. Jeśli powtórzycie ten eksperyment kilka razy to zauważycie szybko, że nitka złożyła się za każdym razem w inny sposób. Folia zachowa się podobnie.

Dodatkowo istnieje spora szansa na to, że w powierzchni rozmiarów kortu do tenisa uderzy mikrometeor. Spowoduje to pęknięcie, które w wypadku napiętej folii może się przerodzić w rozdarcie. Aby zapobiec zniszczeniu całej warstwy na raz, na powierzchni folii przyklejono siatkę wykonaną ze specjalnej taśmy, która ma zapobiec propagacji ewentualnego rozdarcia. Samo rozkładanie tarczy przeciwsłonecznej miało się rozpocząć siódmego dnia podróży i potrwać trzy dni. W tym czasie 107 spinek trzeba uwolnić w bardzo ściśle określonej sekwencji. Zespół, który konstruował tarczę i projektował jej rozkładanie, określił 344 etapy, w których coś może pójść nie tak. Jeżeli podczas któregoś z tych etapów stanie się coś niepożądanego, teleskop będzie nie do odratowania.

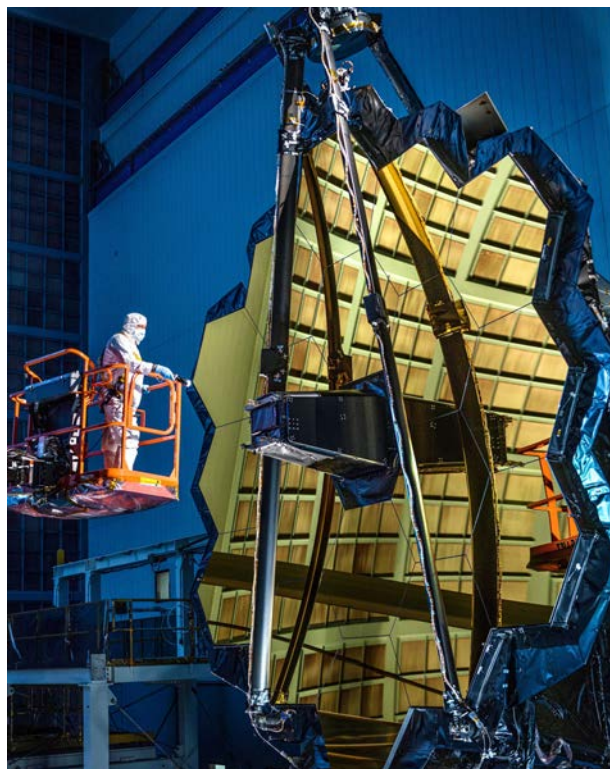
Obserwatorium będzie w dużej mierze odizolowane od ciepła generowanego przez naszą gwiazdę. Jednak dla niektórych instrumentów zainstalowanych na pokładzie teleskopu, 60 K zapewnione przez tarczę przeciwsłoneczną to nadal za dużo. Zawansowany system kriogeniczny pozwoli na schłodzenie niektórych części teleskopu aż do 7 K! Problemem jest pobór energii. Teleskop ma dostępne tylko 2000 W generowane przez panel słoneczny. Aby sprostać tym wymaganiom zaproponowano rozwiązanie graniczące niemal z opisywanymi w powieściach *science fiction*.

Teleskop Webba będzie wyposażony w absolutnie kosmiczną lodówkę. Jest ona zbudowana z zestawu dwóch, dokładnie wyważonych tłoków przesuwających hel. Wyważenie ma tu znaczenie kluczowe. Jakikolwiek wibracje teleskopu mogłyby spowodować rozmazane zdjęcia. System tłoków jest połączony z komorą pulsacyjną (*ang. pulse tube*) i termoakustycznym regeneratorem. Brzmi strasznie, ale w dużym uproszczeniu działanie tego urządzenia można opisać następująco:

Fala dźwiękowa to nic innego jak zmiany ciśnienia przemieszczające się w jakimś medium, np. w gazie. Zjawiska sprężania i rozprężania gazu są podstawą działania każdej lodówki. Sprężany gaz się rozgrzewa, rozprężany zaś ochładza. Możemy dostroić parametry komory tak, aby fala dźwiękowa rozchodząca się w zamkniętym w niej gazie była falą stojącą. Spowoduje to, że jedna strona komory będzie zawsze chłodniejsza od drugiej. Jeżeli umieścimy w połowie drogi (w połowie cylindra) wymiennik

ciepła, to możemy przekierować tę energię, dokąd tylko chcemy (w tym wypadku do radiatora oddającego ciepło do przestrzeni kosmicznej).

Lustro (a w zasadzie lustra) JWST to drugi najbardziej rozpoznawalny element teleskopu. Składa się ono z 18 heksagonalnych segmentów wykonanych z berylu, pokrytych cienką (o grubości 700 atomów) warstwą złota. Co prawda złoto niezbyt dobrze odbija światło widzialne, ale doskonale nadaje się do podczerwieni.



Zwierzciadło kosmicznego teleskopu Jamesa Webba. Zdjęcie wykonał 14 października 2016 główny fotograf NASA Chris Gunn po udanych testach „środką krzywizny”. Jednym z etapów tych testów było sprawdzenie, czy lustro wytrzyma silne wibracje i przeciążenia, których dozna podczas startu. Technik z latarką to George Mooney (fot. NASA)

Każdy z tych osiemnastu sześciokątów ma wbudowany zestaw siłowników i silniczków, które pozwalają na zmianę geometrii każdego z nich indywidualnie, co pozwoli na lepsze dostrojenie optyki. Innym powodem, dla którego zdecydowano się na takie rozwiązanie jest fakt, że lustro musi być składane. 6,5 m średnicy to za dużo dla rakiety Ariane V, więc boczne panele (po 3 sześciokąty z lewej i z prawej) są odchylane do tyłu. Dodatkowo każdy uczy się na błędach. Na przykład teleskopowi Hubble’a nałożono „okulary”, aby skorygować wadę konstrukcyjną rzędu 200 μm . Tam założenie soczewek korekcyjnych było zadaniem wykonalnym, ale w przypadku teleskopu Webba nie dałoby się przeprowadzić takiego serwisu, ponieważ JWST znajduje się za daleko i nie można do niego wysłać misji załogowej, która mogłaby dokonać niezbędnych napraw (przynajmniej na razie).

Lustro teleskopu musi być tak duże z jednego prostego powodu: musi zbierać dużo promieniowania. Można to porównać do zbierania deszczu do wiadra. Im mniejsze wiadro tym mniej wody deszczowej zbierzemy. Jeśli chcemy zebrać jej dużo, potrzebujemy ogromnego lejka. Kiedy patrzymy na jasną gwiazdę na nocnym, rozgwieżdzonym niebie, do naszego oka trafia około milion fotonów na sekundę. Cele obserwacyjne JWST są tak ciemne i odległe, że będzie do niego trafiać 1 foton na sekundę. Ale już ten 1 foton będzie w stanie przekazać nam absolutnie bezcenne informacje o ewolucji Wszechświata

To tylko kilka ze wszystkich elementów, które czynią teleskop Webba tak potężnym obserwatorium. Na całe szczęście systemy pokładowe rakiety Ariane V były na tyle precyzyjne, że umieściły obserwatorium na prawie idealnej trajektorii. Dzięki temu kurs wymagał minimalnych korekt i, co za tym idzie, udało się oszczędzić znaczne ilości paliwa. Jak już wcześniej wspomniano, teleskop Webba będzie orbitował po trajektorii halo z niewielką pomocą własnych silników. Ustalono dokładny limit czasu pracy teleskopu, jednak nic poza brakiem pa-

liwa nie stoi na przeszkodzie, aby ten czas wydłużyć. Minimalna korekta kursu pozwoliła na zaoszczędzenie sporych ilości paliwa, co z kolei wydłuży żywotność obserwatorium do prawie 10 lat! Obecne inżynierowie pracują nad koncepcją misji „reanimacji” teleskopu, tj. dodatkowego wydłużenia czasu jego pracy. Miałyby ona polegać na wysłaniu zrobotyzowanej, kosmicznej cysterny, która zatankowałaby obserwatorium. Czy się uda? Czy może do tego czasu uda się skonstruować lepszy teleskop? Czas pokaże. Teraz pozostaje nam czekać na pierwsze obrazy, które JWST wykona za pomocą swojego *Wielkiego złotego oka*.

Osobiście najbardziej czekam na dane dotyczące składu atmosfer egzoplanet i ewentualnego odkrycia obecności biosygnatur. Można sobie wyobrazić, że dostrzeżemy gazy związane z obecnością życia, spektralny „odcisk palca” roślinności lub może nawet gazy związane z obecnością przemysłu.

Pozostaje cierpliwie czekać!

Źródła

Webb Media Kit – ESA/NASA/CSA; NASA.