ALSEP

Matt Harasymczuk

2021-04-11

CONTENTS

1	Wprowadzenie	3		
2	Problem badawczy	4		
3	Przedmiot i cel pracy	5		
4	Hipotezy badawcze	6		
5	Metody			
6	Rys historyczny lotów kosmicznych6.1Wyścig kosmiczny i początki załogowych lotów kosmicznych6.2Program Księżycowy (N1-L3)6.3Program Apollo	9 9 11 12		
7	Eksperymenty geofizyczne na powierzchni Księżyca 7.1 O pakiecie ALSEP 7.2 Active Seismic Experiment (ASE) 7.3 Cold Cathode Ion Gauge (CCIG) 7.4 Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE) 7.5 Cosmic Ray Detector (CRD) 7.6 Heat Flow Experiment (HFE) 7.7 Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE) 7.8 Lunar Atmospheric Detector (LAD) 7.9 Lunar Dust Detector (LDD) 7.10 Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM) 7.11 Lunar Ionosphere Detector (LID) 7.12 Lunar Portable Magnetometer (LPM) 7.13 Laser Ranging Retro-reflector (LRR) 7.14 Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG) 7.15 Lunar Surface Magnetometer (LSM) 7.16 Lunar Surface Magnetometer (LSM) 7.17 Neutron Probe Experiment (PSE) 7.18 Passive Seismic Experiment (PSE) 7.20 Surface Electrical Properties Experiment (SEP) 7.21 Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE) 7.23 Solar Wind Spectrometer (SWS) 7.24 Traverse Gravimeter Experiment (SIDE)	14 14 18 20 23 24 25 28 29 31 33 35 37 39 40 42 46 50 53 56 58 60 63 65 68 71		
8	Narzędzia używane do prac na powierzchni Księżyca 8.1 Apollo Lunar Surface Close-up Camera (ALSCC) 8.2 Apollo Lunar Surface Drill	72 72 73		

	8.3	S-Band Antenna	75
	8.4	Stacja Centralna	76
	8.5	RTG Cask Dome Removal Tool (DRT)	79
	8.6	RTG Fuel Transfer Tool (FTT)	80
	8.7	Lunar Roving Vehicle (LRV)	81
	8.8	Radioisotope Thermo-electric Generator (RTG)	83
	8.9	Universal Handling Tool	85
9	Misi	ie Apollo	87
	9.1	Apollo 11	87
	9.2	Apollo 12	93
	9.3	Apollo 14	100
	9.4	Apollo 15	110
	9.5	Apollo 16	121
	9.6	Apollo 17	131
10	Bibli	iografia	145
	10.1	Literatura	145
	10.2	Lista figur	145
	10.3	Lista video	145
11	Słow	vniczek	146

11 Słowniczek

WPROWADZENIE

21 lipca 1969 roku amerykański astronauta Neil Armstrong jako pierwszy człowiek w historii postawił stopę na Księżycu. W okresie 1969-1972 w ramach programu *Apollo* pracę badawczą na powierzchni wykonywało 12 osób podczas sześciu lądowań. Łącznie spędzono tam 300 godzin, a zadania operacyjne poza kapsułą lądownika wykonywano przez 80 godzin. Pieszo oraz za pomocą pojazdu księżycowego przebyto sumarycznie 105 km [[Dic06]]. W celu analizy geologicznej i geochemicznej przywieziono na Ziemię 381 kg materiału księżycowego [[Mey09]]. Na chwilę obecną jest to jedyny przykład załogowej eksploracji innego ciała niebieskiego.

Głównym celem dotychczasiwych misji załogowych na Księżyc były badania geologiczne i geofizyczne. W ramach pakietu *ALSEP* (*Apollo Lunar Surface Experiments Package*), w który astronauci byli wyposażeni podczas eksploracji powierzchni zgromadzono szereg urządzeń do badań geofizycznych Księżyca. Dzięki przeprowadzonym pomiarom udało się określić księżycową aktywność sejsmiczną, zmiany jego pola magnetycznego, wpływ oraz skład wiatru słonecznego, zbadać przewodność cieplną globu księżycowego oraz zbadać niskoenergetyczne wiatry słoneczne.

Po zakończeniu programu *Apollo* rząd USA zobligował NASA do zagospodarowania niskiej orbity okołoziemskiej poprzez programy *Skylab*, *Space Shuttle* oraz *ISS*. Decyzja ta spowodowała wzrost gospodarczy w sektorze obserwacji Ziemi oraz satelitów telekomunikacyjnych ale również doprowadziła do zaprzestania eksploracji tzw. głębokiej przestrzeni kosmicznej.

Na przełomie pierwszej i drugiej dekady XXI wieku Księżyc ponownie stał się przedmiotem dyskusji naukowych. Po 10 miesięcznej misji orbitera *Chandrayaan-1* kontrolerzy lotu Indyjskiej Organizacji Badań Kosmicznych dokonali kontrolowanego uderzenia w powierzchnię Księżyca w okolicach krateru *Shackletona*. Po wykonaniu analizy spektroskopowej pyłu oraz fragmentów materiału spod powierzchni odkryto obecność wody w postaci lodu [[Cro11]].

W 2016 roku dyrektor Europejskiej Agencji Kosmicznej Johann-Dietrich Wörner wyznaczył cel dla swojej agencji stworzenia w 2030 roku bazy na Księżycu oraz rozpoczęcia permanentnej obecności człowieka na jego powierzchni [[Wor16]]. Przedsięwzięcie ma być wspólnym międzynarodowym projektem, w którym mają wziąć udział państwa zrzeszone w Europejskiej Agencji Kosmicznej, Rosja oraz Chiny.

W roku 50-tej rocznicy lotu *Apollo 11* wiceprezydent USA Mike Pence w imieniu rządu Stanów Zjednoczonych Ameryki zobligował NASA do załogowej eksploracji Księżyca w ciągu 5 lat [[Inc19]]. Wg. obecnych planów cel ten ma zostać zrealizowany za pomocą lądownika startującego z orbitującej wokół Księżyca stacji LOP-G (ang. *Lunar Orbiting Platform Gateway*). Następnym celem w latach 2030-2040 ma być załogowy lot na Marsa.

Firmy sektora prywatnego również są zainteresowane naturalnym satelitą Ziemi. Główny obszar działalności ma dotyczyć transportu dóbr i towarów oraz wsparcia agencji rządowych w załogowej eksploracji. Istotnym elementem jest także kwestia górnictwa kosmicznego, tj. pozyskiwania z Księżyca zasobów naturalnych, np. Helu-3 czy rud Toru [[Sly07]]. Po przetransportowaniu na Ziemię materiały te będą miały ogromną wartość oraz wg. obecnych przewidywań przyczynią się do rewolucji energetycznej.

PROBLEM BADAWCZY

W ostatnich latach można zaobserwować wyraźny trend deklarowanej chęci powrotu na Księżyc jak również późniejszej załogowej eksploracji Marsa. Opinia ta jest podzielana zarówno przez agencje kosmiczne państw o tradycjach kosmicznych jak również przez firmy prywatne.

Zasadnym jest twierdzenie, iż wyłączenie jest kwestią czasu kiedy rozpocznie się budowa habitatu pozaziemskiego. Aby móc zmaksymalizować efektywność działania astronautów na powierzchni konieczne będzie skomputeryzowanie bazy oraz wsparcie robotyczne podczas eksploracji.

Do czasu pierwszych lotów załogowych w XXI wieku w kierunku Księżyca musi zostać opracowany szereg technologii oraz procedur koniecznych do bezpiecznego zamieszkania tego ciała niebieskiego. Aby uzyskać wymagany poziom niezawodności i stabilności technologia przed lotem musi zostać poddana licznym testom w warunkach jak najbardziej zbliżonych do docelowych. W tym celu inżynierowie i naukowcy budują prototypy habitatów tj. *Aquarius, Lunares, Hi-Seas, FMARS* czy *MDRS* oraz prowadzą symulacje np. w stacjach badawczych na Arktyce i Antarktydzie.

Czy badania geofizyczne przeprowadzone podczas misji *Apollo* w ramach pakietu *ALSEP* mogą być wykorzystane przy efektywniejszym planowaniu powrotu człowieka na Księżyc?

CHAPTER THREE

PRZEDMIOT I CEL PRACY

Celem pracy jest opis badań geofizycznych w trakcie załogowej eksploracji Księżyca w ramach programu Apollo.

HIPOTEZY BADAWCZE

- 1. Badania geofizyczne przeprowadzone podczas misji Apollo w ramach pakietu ALSEP mogą być wykorzystane przy efektywniejszym planowaniu powrotu człowieka na Księżyc.
- 2. Eksperymenty geofizyczne przeprowadzone podczas eksploracji Księżyca w ramach programu Apollo przyczyniły się do zwiększenia wiedzy dotyczącej procesów na nim zachodzących.
- 3. Narzędzia badawcze zgromadzonych w pakiecie *ALSEP* mogą zostać wykorzystane dla przyszłej załogowej eksploracji Księżyca.
- 4. Księżyc posiada wiele niezbadanych parametrów geofizycznych i konieczna jest załogowa eksploracja w celu poznania historii geologicznej i odkrycia obecnie zachodzących procesów.
- 5. Badania geofizyczne Księżyca posłużą do lepszego zrozumienia przyczyny powstania Ziemi i procesów na niej zachodzących.
- 6. Proces szkolenia astronautów do przeprowadzania badań geofizycznych w trakcie misji Apollo może być wykorzystany jako rama planowania treningu dla przyszłych załogowych lotów na Księżyc.

CHAPTER FIVE

METODY

- 1. Analiza publikacji naukowych dotyczących badań geofizycznych Księżyca
- 2. Synteza materiałów historycznych udostępnionych przez NASA
- 3. Analiza planu lotu misji Apollo 11
- 4. Analiza jakościowa publicznych danych
- 5. Wywiad środowiskowy w branży kosmicznej zajmującej się eksploracją Księżyca
- 6. Przegląd literatury przedmiotu i podmiotu
- 7. Przegląd bibliografii astronautów programu Apollo
- 8. Kontakt z astronautami, którzy brali udział w programie Apollo
- 9. Kontakt z astronautą-geologiem, który prowadził badania na Księżycu (Ryc. 5.1.)
- 10. Synteza informacji zgromadzonych w muzeach poświęconych programowi Apollo



Ryc. 5.1.: Zdjęcie okolicznościowe zrobione podczas spotkania autora publikacji z astronautą-geologiem *Harrison Hagan "Jack" Schmitt* uczestnikiem wyprawy *Apollo 17*.

RYS HISTORYCZNY LOTÓW KOSMICZNYCH

Programy kosmiczne były prowadzone głównie przez dwa państwa USA i Federację Rosyjską (uprzednio Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich). ZSRR był inicjatorem współpracy międzynarodowej. W ramach programu Interkosmos polecieli pierwsi kosmonauci niebędący obywatelami wyżej wymienionych mocarstw, a generał Hermaszewski został pierwszym polakiem, który tego dokonał.

Podczas selekcji kosmonauci i astronauci wybierani byli głównie ze względu na doświadczenie w pilotażu, chociaż pojawiały się również grupy osób z innych specjalności tj. inżynieria, nauka, medycyna jak również nauczyciele.

Wraz z rozwojem technologicznym pozwalającym na autonomiczne prowadzenie statków kosmicznych oraz ich dokowanie, oraz wraz ze zwiększającą się liczbą startów, zwiększaniem stabilizacji i bezpieczeństwa lotów jak i pobytu w kosmosie nacisk na doświadczenie kandydata jako pilota maleje. Chociaż to wciąż wysoko cenieni specjaliści, to ilość badań, ich złożoność oraz specyfika promuje profil kandydatów z wykształceniem naukowym lub inżynieryjnym. Jednocześnie na uwagę zasługuje fakt, iż w większości przydziałów do misji, osoby które udawały się w kosmos były szkolone do prowadzenia badań wychodzących poza zakres specjalizacji danego astronauty.

6.1 Wyścig kosmiczny i początki załogowych lotów kosmicznych

Po drugiej wojnie światowej wyścig zbrojeń przerodził się w tzw. zimną wojnę pomiędzy Stanami Zjednoczonymi Ameryki i Związkiem Socjalistycznych Republik Radzieckich. Za oficjalną datę rozpoczęcia wyścigu kosmicznego (ang. *Space Race*) przyjmuje się dzień 2 sierpnia 1955 roku. Tego dnia Związek Radziecki odpowiedział na ogłoszoną przez rząd USA cztery dni wcześniej deklarację zamiaru wystrzelenia sztucznego satelity z okazji międzynarodowego roku geofizyki [[Cad06]].

Wystrzelony 4 października 1957 należący do ZSRR Sputnik został pierwszym sztucznym satelitą Ziemi. To wydarzenie zapoczątkowało serię sukcesów Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich w kosmosie, do których należały:

- pierwsze wystrzelenie zwierzęcia (pies Łajka, 3 październik 1957),
- pierwsze bezzałogowe lądowanie na Księżycu (Luna 2, 13 września 1959) [[She69]],
- wystrzelenie oraz orbitowanie pierwszego człowieka (J. Gagarin, 12 kwietnia 1961),
- pierwsza lot orbitalny trwający ponad dobę (G. Titow, 6 sierpnia 1961),
- pierwsza kobieta w kosmosie (W. Tierieszkowa, 16 Czerwiec 1963),
- pierwszy spacer kosmiczny (A. Leonow, 18 marzec 1965),
- pierwsze zwierzęta orbitujące Księżyc, które powróciły na Ziemię (Zond 5, 15 września 1968) [[Sid00]].

Pierwszym zwierzęciem, które przekroczyło linię graniczną kosmosu był pies Łajka wystrzelony za pomocą rakiety Sputnik 8K71PS w kapsule Sputnik-2 [[Sid00]]. Ze względu na wysoką temperaturę spowodowaną uszkodzeniem i niepełnym rozczepieniem członu rakiety od satelity zwierzę zdechło po kilku godzinach od startu. Pies planowo miał żyć na orbicie 10 dni. Po 162-óch dniach (około 2000 orbit) kapsuła z martwym ciałem weszła w atmosferę i spłonęła [[Har97]].

Pierwszym człowiekiem w kosmosie był major Jurij Gagarin (awansowany później na pułkownika). Gagarin był jednym z 20 osób, które zostały wybrane wśród pilotów wojskowych Związku Radzieckiego [[Sid00]]. Wg. podań świadków major wyróżniał się wytrzymałością, duchem oraz doświadczeniem. Major został wystrzelony przez Związek Radziecki 12 kwietnia 1961 w 108 minutowy lot orbitalny wokół Ziemi na pokładzie Vostok-1. Po okrążeniu Ziemi wszedł ponownie w atmosferę w tzw. krzywej balistycznej cechującej się wysokim poziomem przeciążeń działających na ciało kosmonauty. Ze względu na fakt, iż Radzieccy konstruktorzy nie dysponowali jeszcze techniką aby bezpiecznie wylądować statkiem kosmicznym na ziemi zdecydowano się na użycie fotela katapultowego i spadochronu. Na poziomie 20 000 stóp nad poziomem morza (ok. 6 tys. metrów) Gagarin katapultował się z kapsuły i bezpiecznie wrócił na powierzchnię [[Lew10]].

Amerykańską odpowiedzią na plan wysłania człowieka w kosmos był program Mercury. W trakcie selekcji do programu wybrano siedmiu astronautów. 5 maja 1961 Alan Shepard jako pierwszy amerykanin poleciał w kosmos. 12 września 1962 - pół roku po locie Sheparda, w celu zażegnania widma porażki w kosmicznym wyścigu prezydent Stanów Zjednoczonych Ameryki J. F. Kennedy wygłosił mowę na Uniwersytecie Rice [[Ken62]]. W trakcie przemowy Kennedy zmobilizował naród i postawił cel, aby "do końca dekady człowiek postawił nogę na Księżycu i bezpiecznie wrócił na Ziemię". Cel ten udało się zrealizować w 1969 roku, gdy amerykański astronauta Neil Armstrong stanął na naturalnym satelicie Ziemi. Do najważniejszych amerykańskich programów należą:

- project Mercury,
- project Gemini,
- project Apollo,
- project Skylab (Apollo Application),
- program Space Shuttle,
- uczestnictwo w programie ISS.

Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich wiódł prym w tematach kosmicznych i do czasu pierwszych kroków Neila Armstronga technologia radziecka była uważana za dominującą. Programy załogowe ZSRR charakteryzowały się dużą złożonością i zróżnicowaniem. Wśród najważniejszych programów ZSRR i późniejszej Federacji Rosyjskiej można wymienić:

- program Wostok,
- program Woschod,
- program Sojuz i Progres,
- program Księżycowy (N1-L3),
- program Salut,
- program Interkosmos,
- program Buran,
- stacja kosmiczna Mir,
- uczestnictwo w programie ISS.

Ze względu na plan powrotu człowieka na Księżyc warto w szczegółach przyjrzeć się programowi Apollo oraz N1-L3. W ramach tych misji i całego cyklu przygotowania do lotów stworzone zostały mechanizmy, procedury oraz infrastruktura szkoleniowo-badawcza. Część technologii i opracowań, które w 1969 roku pozwoliły człowiekowi stanąć wciąż są aktualne i mogą być wykorzystane przy szkoleniu astronautów do przyszłych misji na inne ciała niebieskie.

6.2 Program Księżycowy (N1-L3)

ZSRR konkurował ze stanami zjednoczonymi w ramach wyścigu kosmicznego. Punktem kulminacyjnym całego Space Race miał być załogowy lot na Księżyc. W tym celu Główny Konstruktor Siergiej Pawłowicz Korolew rozpoczął pracę nad rakietą N1. W ramach programu stworzony został również moduł orbitujący (ros. *LOK - Lunniy Orbitalny Korabl*) oraz lądownik (ros. *LK - Lunniy Korabl*) przedstawiony na obrazku Ryc. 6.1.. Rakieta N1 w przeciwieństwie amerykańskiego podejścia składała się nie z trzech a z 5 segmentów (ang. *stage*) oraz 30 silników pierwszego poziomu. Ze względu na złożoność systemu rakieta każdorazowo eksplodowała przy starcie. Po czwartym nieudanym podejściu i utracie nosiciela, zmianie geopolitycznej i przegraniu wyścigu kosmicznego Komitet Centralny Partii postanowił zamknąć program.

W 1966 roku kosmonauci zostali przydzieleni do treningów księżycowych (Tab. 6.1.). Stworzono grupy, których celami były:

- Soyuz 7K-OK kwalifikacja statków Soyuz do lotów orbitalnych (lider Gagarin),
- L1/Zond lotów księżycowych na rakiecie Proton (lider Komarow),
- L3 opracowanie procedur i metodyki lądowania na Księżycu (lider Leonow).

W ramach programu N1-L3 zaplanowano 18 misji. Ze względu na przewodzenie grupie opracowujących lądowanie Aleksiej Leonow miał największą szansę być nominowany do bycia pierwszym kosmonautą na Księżycu [[LS06]].

Tab.	6.1.:	Lista	kosn	nonautów	przyp	oisanych	do	grup	szkoleni	owych v	N
rama	ach so	wieck	iego j	orogramu	księży	ycowego) [K	am99]		

Grupa	Kosmonauci
szkole-	
niowa	
Soyuz	Gagarin, Komarov, Nikolayev, Bykovsky, Khrunov, Gorbatko, Voronov, Kolodin
7K-OK	
L1	Komarov, Volynov, Dobrovolskiy, Voronov, Kolodin, Zholobov, Bykovskiy
L3	Leonov, Gorbatko, Khrunov, Gagarin, Nikolayev, Shatalov

Tab. 6.2.: Planowany harmonogram lotów w ramach sowieckiego programu księżycowego [Kam99]

Desyg-	Planowana data	Cel
nacja		
2P	1967-02/03	Robotyczny lot na wysokiej eliptycznej orbicie okołoziemskiej
3P	1967-03	Robotyczny lot na wysokiej eliptycznej orbicie okołoziemskie
4L	1967-05	Misja robotyczna na Księżyc
5L	1967-06	Misja robotyczna na Księżyc
6L	1967-06/07	Pierwszy w historii lot człowieka w strefę wpływu Księżyca
7L	1967-08	Robotyczna lub załogowa misja na Księżyc
8L	1967-08	Robotyczna lub załogowa misja na Księżyc
9L	1967-09	Robotyczna lub załogowa misja na Księżyc
10L	1967-09	Robotyczna lub załogowa misja na Księżyc
11L	1967-10	Robotyczna lub załogowa misja na Księżyc
12L	1967-10	Załogowa misja na Księżyc
13L		Misja rezerwowa



Ryc. 6.1.: Różne prototypy lądowników księżycowych w ramach programu załogowego ZSRR. Źródło: Astronautics/Mark Wade [[Wad01]]

6.3 Program Apollo

Najbardziej ambitnym programem w historii astronautyki był program Apollo. W ciągu niespełna dekady udało się opracować technologię oraz procedury pozwalające człowiekowi stanąć na powierzchni Księżyca i bezpiecznie powrócić na Ziemię. Program Apollo był próbą realizacji oświadczenia prezydenta USA J. F. Kennedy'ego z 12 września 1962 roku [[Ken62]].

Każda z misji programu Apollo cechowała się innym zadaniem w zależności od kategorii do której była przydzielona [[EM07]]. Tab. 6.3. przedstawia typy misji oraz opis każdej z kategorii.

Krótka charakterystyka misji Apollo [[Eis17]], [[Cun10]], [[Cer00]]:

- Apollo 1 pożar przy rutynowym teście, załoga poniosła śmierć,
- Apollo 7 pierwszy start rakiety Saturn V z astronautami w module dowodzenia,
- Apollo 8 pierwsze załogowe orbitowanie Księżyca, ikoniczne zdjęcie wschodu Ziemi przedstawiające wschód Ziemi nad Księżycem,
- Apollo 10 pełny test do misji typu G, zbliżenie na 8,4 NM (15,6 km) do powierzchni Księżyca,
- Apollo 11 pierwsze lądowanie na Księżycu, ikoniczne zdjęcie "Lunar Footprint" przedstawiające odcisk buta astronauty na powierzchni,
- Apollo 12 najbardziej dokładne lądowanie w programie Apollo, akwizycja kamery sondy Surveyor 3,
- Apollo 13 wybuch zbiornika z tlenem i dramatyczna walka z czasem aby sprowadzić załogę na Ziemię,
- Apollo 14 test pojazdu MET na księżycu,
- Apollo 15 pierwsze wykorzystanie pojazdu LRV,
- Apollo 16 pierwsza trzydniowa misja (typ J)
- Apollo 17 ostatnie lądowanie na Księżycu (pierwsza misja w której brał udział naukowiec geolog), ikoniczne zdjęcie "Blue Marble" - przedstawiający Ziemię z daleka,
- Apollo-Soyuz Test Project ostatnia misja programu, podczas której doszło do dokowania na orbicie statków Apollo oraz Sojuz i historycznego uścisku dłoni między reprezentantami USA i ZSRR.

Тур	Lot	Cel	Licz	b a ⁄iisja Apollo	Opis
	za-		LEVA		
	ło-				
	gow	y?			
Α	nie	Niska Orbita Ziemska	0	Apollo 4, Apollo 6	Test Saturn V i CSM
В	nie	Niska Orbita Ziemska	0	Apollo 5	Test LM
С	tak	Niska Orbita Ziemska	0	Apollo 7	Test CSM
D	tak	Niska Orbita Ziemska	0	planowany Apollo 8,	Test CSM i LM
				polecał Apollo 9	
Е	tak	Średnia Orbita Ziem-	0	brak lotów	Test CSM i LM, symulowana misja
		ska			księżycowa na eliptycznej orbicie MEO
					apogeum 3,500 NM (6,500 km)
F	tak	Niska Orbita	0	Apollo 10	Test CSM i LM, próba generalna przed
		Księżyca			lądowaniem
G	tak	Lądowanie na	1	Apollo 11	Pierwsze lądowanie załogowe na
		Księżycu			Księżycu
Н	tak	Pobyt na księżycu 2	2	Apollo 12, Apollo 13	Precyzyjne lądowanie
		dni		(planowany), Apollo	
				14	
Ι	tak	Pobyt na księżycu 2	3	Scalono z misjami J	badania na orbicie Księżyca, Scientific
		dni			Instrument Module
J	tak	Pobyt na księżycu 3	3	Apollo 15	Extended LM, Lunar Roving Vehicle
		dni		(planowany H,	
				zamieniono na J),	
				Apollo 16, Apollo	
				17, Apollo 18, 19, 20	
				(planowane jako J)	

Tab. 6.3.: Typy misji w ramach programu Apollo [EM07]

EKSPERYMENTY GEOFIZYCZNE NA POWIERZCHNI KSIĘŻYCA

Księżyc bombardowany jest wiatrem słonecznych, który składa się z naładowanych cząstek, w większości protonów i elektronów emanujących ze Słońca. Wiatr niesie ze sobą również międzyplanetarne pole magnetyczne [[NAS69]].

Planeta Ziemia otoczona jest polem magnetycznym, które chroni ją przed bezpośrednim wypływem strumienia pola wysokoenergetycznych cząstek. Księżyc, ma zaniedbywalne pole magnetyczne. Z tego względu powierzchnia Księżyca narażona jest na wpływ szkodliwego promieniowania [[NAS69]].

Eksperymenty z pakietu Apollo Lunar Surface Experiments Package (ALSEP) były przeznaczone do zbadania szkodliwego wpływu wiatru słonecznego, powierzchni księżyca oraz sejsmiki Księżyca. Część eksperymentów była zaprojektowana aby mierzyć i przesyłać informacje po opuszczeniu powierzchni przez astronautów.

Program ALSEP kosztował 200 mln. USD, wliczając w to zaprojektowanie oraz wytworzenie stacji centralnych, eksperymentów, wsparcia inżynieryjnego w Houston i analizy danych przez laboratoria w USA i na świecie. Koszt operacyjny utrzymania infrastruktury zdalnego wykonywania eksperymentów wynosił 2 mln. USD rocznie. Ceny podane wg. wartości amerykańskiego dolara lat 1969-1972 [[Lin08]].

Program ALSEP został zamknięty wraz z wyczepianiem budżetu projektu 30 września 1977 roku. W trakcie całego okresu zostało wysłanych 153 tys. poleceń i otrzymano około tryliona bitów informacji naukowych. Mimo wyłączenia infrastruktury naziemnej, część eksperymentów pasywnie emitowała informacje za pośrednictwem fal radiowych. Dane te były przechwytywane i wykorzystywane przez różne instytucje tj. Jet Propulsion Laboratory w celu opracowywania pomiarów geodezyjnych, astrometrycznych oraz nawigacji statków kosmicznych [[Lin08]].

7.1 O pakiecie ALSEP

7.1.1 Nazwa

W trakcie programu Apollo dwóch zestawów eksperymentów:

- Early Apollo Surface Experiments Package (EASEP),
- Apollo Lunar Surface Experiments Package (ALSEP).

Pakiet *EASEP* był wykorzystany podczas misji *Apollo 11*. W kolejnych misjach, tj. *Apollo 12*, *14*, *15*, *16* i *17* zastosowano konfigurację w wariantach zwanych macierzami ALSEP (ang. *ALSEP Array*):

Misja	Nazwa zestawu
Apollo 11	EASEP
Apollo 12	ALSEP Array A
Apollo 13	ALSEP Array B
Apollo 14	ALSEP Array C
Apollo 15	ALSEP Array A-2
Apollo 16	ALSEP Array D
Apollo 17	ALSEP Array E

Tab. 7.1.: Warianty pakietu ALSEP w poszczególnych misjach

7.1.2 Transport eksperymentów na Księżyc

Konfiguracja transportowa



Ryc. 7.1.: Źródło: [[Knu13]]

Scientific Equipment Bay (SEQ)



Ryc. 7.2.: Zdjęcie przedstawia ciemno szare drzwi Scientific Equipment Bay (SEQ) znajdujące się na lewo od środka. W srebrnej otulinie na prawo od drzwi znajduje się eksperyment *Cosmic Ray Detector (CRD)*. W celu otwarcia dostępu do drzwi astronauci używali specjalnych taśm. Samo otwarcie drzwi wykonywane było przy użyciu rękawic skafandra. Źródło: NASA/AS16-113-18335, [[Lin08]].



Ryc. 7.3.: Alan Bean w trakcie rozpakowywania zestawu ALSEP. W tym celu astronauta użył zmiennej długości wysięgnika, rolki i taśm. Po prawej stronie od kolana Alan Beana można zobaczyć elementy generatora *Radioisotope Thermo-electric Generator (RTG)*. Źródło: NASA/AS12-46-6783 [[Lin08]].

7.1.3 Lista eksperymentów

Skrót	Nazwa eksperymentu	Dziedzina	Zrealizowano podczas misji
			Apollo
ASE	Active Seismic Experiment	Sejsmika	14, 16
CCIG	Cold Cathode Ion Gauge	Magnetometria	12, 14, 15
CPLEE	Charged Particle Lunar Environmental Experiment	Elektromagnetyzm	14
CRD	Cosmic Ray Detector	Radiometria	16, 17
HFE	Heat Flow Experiment	Radiometria	15, 16 (nieskutecznie), 17
LACE	Lunar Atmospheric Composition Experi-	Badania atmosfer-	17
	ment	yczne	
LAD	Lunar Atmospheric Detector	Badania atmosfer-	11, 12
		yczne	
LDD	Lunar Dust Detector	Petrofizyka	11, 12, 14, 15
LEAM	Lunar Ejecta and Meteorite Experiment	Wulkanizm	17
LID	Lunar Ionosphere Detector	Elektromagnetyzm	12
LPM	Lunar Portable Magnetometer	Magnetometria	14, 16
LRRR	Laser Ranging Retro-reflector	Astrometria	11, 14, 15
LSG	Lunar Surface Gravimeter Experiment	Grawimetria	17
LSM	Lunar Surface Magnetometer	Magnetometria	12, 15, 16
LSPE	Lunar Seismic Profiling Experiment	Sejsmika	17
NPE	Neutron Probe Experiment	Radiometria	17
PSE	Passive Seismic Experiment	Sejsmika	12, 14, 15, 16
PSEP	Passive Seismic Experiment Package	Sejsmika	11
SEP	Surface Electrical Properties Experiment	Elektromagnetyzm	17
SIDE	Suprathermal Ion Detector Experiment	Elektromagnetyzm	12, 14, 15
SWCE	Solar Wind Composition Experiment	Elektromagnetyzm	11, 12, 14, 15, 16
SWS	Solar Wind Spectrometer	Elektromagnetyzm	12, 15
TGE	Traverse Gravimeter Experiment	Grawimetria	17

Tab. 7.2.: Lista eksperymentów zrealizowanych w trakcie misji Apollo

7.2 Active Seismic Experiment (ASE)

	1 , ,
Ośrodek badawczy	Stanford University, USA
Misje	Apollo 14, 16
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Active Seismic Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Aktywny eksperyment sejsmiczny
Dziedzina	Sejsmika

Гаb. 7.3	.: Active	Seismic	Experiment	t (ASE)
----------	-----------	---------	------------	---------

7.2.1 Przedmiot badania

Aktywny eksperyment sejsmiczny pozwalał na uzupełnienie danych zebranych podczas pasywnego eksperymentu. ASE od PSE różnił skalą i źródłem energii.

Dwa aktywne eksperymenty sejsmiczne zostały wykonane podczas misji Apollo 14 i 16. W trakcie misji Apollo 17 wykonano eksperyment profilowania sejsmicznego w celu określenia struktury górnej warstwy powierzchni Księżyca do głębokości 1000 m.

7.2.2 Materiały i metody

NASA-S-71-1699



Figure 14-31.- Active seismic experiment.

Ryc. 7.4.: Diagram przedstawia eksperyment Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [[NAS69]].

W przeciwieństwie do *Pasywnego eksperymentu*, który był zaprojektowany do badań całego Księżyca, *aktywny eksperyment sejsmiczny* skupiał się na poznaniu lokalnej okolicy lądowania. *ASE* zamiast czekać na naturalnie wystąpienie zdarzeń sejsmicznych wewnątrz Księżyca i na jego powierzchni, polegał na wykorzystaniu niewielkich ładunków wybuchowych w celu wzbudzenia fali sejsmicznej.

Eksplozje wywołane w celu badań aktywności sejsmicznej podzielono na:

- niewielkie wybuchy w trakcie prac operacyjnych na powierzchni Księżyca,
- większe eksplozje wywoływane zdalnie, po opuszczeniu powierzchni przez astronautów.

Do wzbudzenia fali sejsmicznej użyto dwóch rodzajów źródeł:

- wzbudnik (ang. thumper),
- moździerz (ang. mortar).

Detonacje wywołane zarówno podczas misji Apollo 16 jak i 17 były wyzwalane za pomocą urządzenia sterowanego radiowo.

7.2.3 Przebieg eksperymentu

Wzbudnik był używany przez astronautów w celu detonacji ładunków przypominających naboje strzelby. Każde urządzenie posiadało 19 takich naboi uruchamianych sekwencyjnie w równych odstępach czasowych wzdłuż 90cio metrowej linii *geofonów*. Dane pomiarowe z wykorzystaniem powyższej metody były dostępne jeszcze w trakcie pobytu astronautów na powierzchni Księżyca i służyły do aktualizacji dalszych eksperymentów [[Jon95]].

Drugi rodzaj ładunków, który znalazł zastosowanie podczas misji Apollo 16 wyzwalał falę sejsmiczną za pomocą ładunku moździerzy znajdującej się w "moździerzowym zespole opakowaniowym" (ang. *mortar package assembly*). Do detonacji dochodziło po opuszczeniu powierzchni przez astronautów. Operatorzy przed odlotem ustawiali urządzenia i nastawiali przyrządy celownicze. *MPA* składał się z czterech granatów wystrzeliwanych za pomocą rakiet. Urządzenia posiadały geofony mierzące czas pojawienia się fali sejsmicznej spowodowanej uderzeniem pocisku o powierzchnię. Pociski wystrzeliwano z lufy mechanizmu. Ciągnięty za pociskiem drut pozwalał na określenie odległości poziomej lotu. Ze względu na brak atmosfery oraz zmniejszoną grawitację można było precyzyjnie określić dystans. Urządzenie zostało zaprojektowane aby punkt uderzenia wypadał na: 137, 282, 853, 1372 metrach od moździerzy. W celu sukcesywnego zwiększenia odległości stosowano ładunki wybuchowe różnej wielkości [[BEC+72]].

7.2.4 Rezultaty

Profilowanie sejsmiczne pozwalało określić strukturę powierzchni. Eksperymenty przyczyniły się do oszacowania prędkości rozchodzenia się fali sejsmicznej. Zmierzona prędkość wynosiła od 0.1 do 0.3 km/s w górnej warstwie skorupy Księżyca. Wartości były podobne dla wszystkich trzech wykonań eksperymentów i zgadzały się z danymi zmierzonymi w *pasywnym eksperymencie sejsmicznym* [[Jon95]].

Prędkości te są znacznie niższe niż zaobserwowane w analogicznych formacjach geologicznych na Ziemi. Wartości natomiast korelują się z prędkościami rozchodzenia się fal sejsmicznych w skałach *brekcji* o wysokim stopniu porowatości oraz spękaniach spowodowanych długotrwałym bombardowaniem meteorytami powierzchni Księżyca.

Za pomocą *aktywnego eksperymentu sejsmicznego* w miejscu lądowania Apollo 14 określono miąższość regolitu księżycowego powierzchni na 8,5 metrów. Dla porównania w miejscu lądowania Apollo 17 powierzchnię określono na warstwę bazaltową o miąższości 1,4 km. Wartość ta jest była wyższa od zmierzonej za pomocą *Traverse Gravimeter Experiment (TGE)* [[PBB+73]].

7.3 Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)

	U ()
Ośrodek badawczy	University of Texas, USA
Misje	Apollo 12, 14, 15
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Cold Cathode Ion Gauge
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Pomiar jonów zimną katodą
Dziedzina	Magnetometria

Tab. 7.4.: Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)

7.3.1 Przedmiot badania

W celu pomiaru liczby oraz rodzaju jonów na Księżycu wykonano dwa eksperymenty: *Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)* i *Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)*. Badania te były ze sobą ściśle skorelowane i wykorzystywały jedno urządzenie połączone krótkim kablem elektrycznym.



Ryc. 7.5.: Zdjęcie przedstawia dwa instrumenty badawcze: *Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)* i *Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)*. *SIDE* znajduje się w górnym lewym rogu zdjęcia, a *CCIG* w centrum fotografii. Źródło: NASA/AS14-67-9373 [[Tea99]].

7.3.2 Materiały i metody



Figure 13. - The CCIG in the deployed configuration.

Ryc. 7.6.: Diagram przedstawia eksperyment Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). Źródło: [[NAS69]].

Urządzenie pomiarowe SIDE/CCIG było wyposażone w kierunkowy sensor zorientowany w płaszczyźnie ekliptycznej pod kontem 15 stopni od lokalnego Księżycowego południka. Ze względu na znaczną różnicę w długościach geograficznych miejsc lądowań, anteny urządzenia skierowane były 38 stopni na zachód (*Apollo 12*), 2 stopnie na wschód (*Apollo 14*) i 19 stopni na zachód (*Apollo 15*). W trakcie pomiarów urządzenie nie było bezpośrednio skierowane w stronę nadchodzącego wiatru słonecznego [[Jon95]].

7.3.3 Przebieg eksperymentu

Z racji ustawienia eksperymentu w trakcie poszczególnych faz orbity Księżyca zaobserwowano pole strumienia jonów (ang. *flux*) w zewnętrznej warstwie magnetosfery (ang. *magnetosheath*). Detektor zarejestrował również zjawiska częściowo związane z oddziaływaniem na powierzchnię Księżyca jak również na jego ogon magnetosferyczny (ang. *magnetotail*). Dane z eksperymentu zostały wykorzystane do określenia potencjału powierzchni Księżyca, zbadania parametrów plazmy przy powierzchni, jak również określenia spektrum masowego jonów i badań strumienia pola jonowego w ogonie magnetosferycznym [[AAB+72]].

Podczas rozstawiania eksperymentu w trakcie misji *Apollo 12*, błędne ustawienie kabla łączeniowego sprawiło wiele problemów z pozycjonowaniem *CCIG* i *SIDE*. Zgodnie z pierwotnym założeniem, *SIDE* był wsparty na trzech krótkich nogach. W misji Apollo 14 do urządzenia dodano stabilizator. Z tego względu Astronauta Ed Mitchell miał jeszcze większe trudności z ustawieniem *CCIG*, bez zakłócania eksperymentu *SIDE*. Przed misją *Apollo 15* urządzenie poddano znacznej modyfikacji.

7.3.4 Rezultaty

Podczas trzech misji (*Apollo 12, 14, 15*), w których wykonano eksperymenty dotyczące określenia ciśnienia atmosfery księżycowej. Zakres operacyjny urządzenia *CCIG* wynosił od 10E-6 do 10E-12 Torr. Wyniki pomiarów określiły poziom ciśnienia w maksymalnym dolnym zakresie urządzenia, tj. 10E-12 Torr. Dla porównania Ziemska atmosfera na poziomie morza przyjmuje wartość 760 Torr [[AAB+72]].

Urządzenie ze względu na wysoką czułość było w stanie zaobserwować ucieczkę cząsteczek gazów, głównie wody i dwutlenku węgla, ze skafandrów astronautów znajdujących się w pobliżu urządzenia [[Jon95]].

7.4 Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE)

Ośrodek badawczy	University of Sydney, Australia
Misje	Apollo 14
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Charged Particle Lunar Environmental Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Pomiar ładunku cząstek w środowisku księżycowym
Dziedzina	Elektromagnetyzm

	Tab.	7.5.:	Charged	Particle	Lunar	Environmental	Experiment	(CPLEE)	,
--	------	-------	---------	----------	-------	---------------	------------	---------	---

7.4.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE)* polegał na pomiarze energii cząstek wiatru słonecznego (protonów i elektronów) docierających do powierzchni Księżyca. Dane pozwoliły na wyznaczenie rozkładu energii cząstek oraz zmierzenie ich wpływu na układ Ziemia-Księżyc.

Ponadto określono ich oddziaływanie na zorze polarne występujące na Ziemi i *pasy Van Allena*. Pozwoliło to na dokładniejsze określenie charakterystyki Ziemskiego pola magnetycznego. Zbadano również procesy zachodzące w strefie napływu fal promieniowania słonecznego podczas uderzania o powierzchnię Księżyca jak również wpływ naładowanych cząstek wiatru słonecznego na środowisko księżycowe.

7.4.2 Materiały i metody



Ryc. 7.7.: Zdjęcie przedstawia eksperyment Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE). Źródło: NASA/AS14-67-9364, [[NAS69]].

Za pomocą zestawu wykorzystującego dwa spektrometry zbadano protony i elektrony w przedziale energetycznym 40 KeV do 70 KeV. Urządzenie zostało ustawione w sposób minimalizujący ekspozycję do płaszczyzny ekliptyki słońca. Każdy ze spektrometrów posiadał sześć detektorów cząstek: pięciu C-kształtnych kanalikowych powielaczy elektronowych (ang. *channeltron photon multiplier*) składających się ze szklanej rurki o średnicy 1 mm i długości 10 cm oraz jednej spiralnej dynody o kształcie lejka o 8 mm otworze [[Jon95]].

7.4.3 Przebieg eksperymentu

Eksperyment wykonano jedynie raz podczas całego programu Apollo w trakcie misji *Apollo 14*. Urządzenie *CPLEE* było rozstawione 3 metry na północny wschód od *Centralnej Stacji Apollo 14*. Cząsteczki o określonym ładunku i różnych energiach wpadające do spektrometru były poddane oddziaływaniu prądu o odpowiednim napięciu. Oddziaływanie to powodowało ugięcie toru lotu cząstek i kierowało je do pięciu powielaczy elektronowych. Cząsteczki o przeciwnym ładunku były odbijane i kierowane do spiralnej dynody o kształcie lejka.

Dzięki unikalnemu charakterowi C-kształtnych detektorów istniała możliwość wykonania równoległych pomiarów właściwości fizycznych protonów i elektronów na pięciu różnych poziomach energii.

7.4.4 Rezultaty

Rezultaty pozwoliły na określenie, że w ciągu dnia Księżyc poddawany jest bombardowaniu niskoenergetycznych fotoelektronów. Ich wariancja zmienia się wraz natężeniem strumienia pola wiatru słonecznego.

Niespodziewanym odkryciem podczas eksperymentu *Charged Particle Lunar Environmental Experiment* (*CPLEE*) okazało się zaobserwowanie elektronów w ogonie magnetycznym Ziemi. Cząstki posiadały potencjał porównywalny z wartościami wiązania w Ziemskich zorzach polarnych.

7.5 Cosmic Ray Detector (CRD)

Ośrodek badawczy	University of California-Berkeley i Washington University, USA
Misje	Apollo 16, 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Cosmic Ray Detector
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Wykrywacz promieniowania kosmicznego
Dziedzina	Radiometria

Tab. 7.6.: Cosmic Ray Detector (CRD)

7.5.1 Przedmiot badania

W bezpośrednim otoczeniu kosmicznym Ziemi zaobserwować można trzy główne rodzaje promieniowania: wiatr słoneczny o stałym natężeniu, cząstki pochodzące z rozbłysków słonecznych (ang. *Solar Particle Event, SPE*) oraz promieniowanie kosmiczne (ang. *Galactic Cosmic Rays, GCR*).

Mimo iż promieniowanie kosmiczne stanowi 1% całości spektrum, jest ono najbardziej zagrażające życiu i zdrowiu astronautów. *GCR* złożone jest z cząstek o ekstremalnie dużych energiach (od 100 MeV do 1 GeV) i prędkościach zbliżonych do prędkości światła. Zaobserwowano również cząstki *UHECR* (ang. *Ultra-High-Energy Cosmic Rays*) o energii dochodzącej do 3 x 10E20 eV [[BEC+72]].

Promieniowanie kosmiczne ma złożony charakter i występuje w postaci zarówno korpuskularnej jak i elektromagnetycznej. Cząsteczkowa składowa promieniowania zawiera: protony (90%), cząstki alfa, głównie (jądra helu) -9% i elektrony (ok. 1%). 1-2% promieni kosmicznych składa się z jąder cięższych pierwiastków.

Promieniowanie kosmiczne oddziałuje ze wszystkich kierunków, a ich źródło pierwotne na chwilę obecną jest nieokreślone. Obecnie najpopularniejszą teorią pochodzenia promieniowania kosmicznego są wybuchy supernowych, występujące nierzadko poza galaktyką Drogi Mlecznej.

7.5.2 Materiały i metody



Ryc. 7.8.: Zdjęcie przedstawia eksperyment Cosmic Ray Detector (CRD). Detektor jest ustawiony w pozycji minus-Y (południe). Źródło: NASA/AS16-107-17442, [[Tea99]].

Kolektor cząstek składał się z zestawu czterech paneli. Pierwszy i drugi panel zrobiono ze złożenia 31 warstw materiału Lexan o grubości 0,025 cm i pokryto perforowanym aluminiowanym Teflonem. Panel trzeci składał się z czterech warstw filmu trioctanu celulozy firmy Kodacel o grubości 0,2 cm. Każda z warstw była pokryta w górnej połowie 5 mikronową warstwą Lexanu [[Jon95]].

W trakcie eksperymentu na powierzchnię Księżyca poza lądownik księżycowy wystawiano próbki różnych materiały. Działanie to miało na celu ekspozycję na efekty promieniowania kosmicznego paneli zrobionych w odmiennych technologiach. Panele najczęściej miały strukturę podobną do plexiglas. Cząsteczki padające na powierzchnię panelu pozostawiały ślady mikrościeżek. Charakterystyka tych zapisów obserwowanych przy dużym przybliżeniu pozwoliła na określenie składu i kierunku padania promieniowania kosmicznego. Badano również podatność różnych materiałów na penetrację promieniowania kosmicznego [[BEC+72]].

7.5.3 Przebieg eksperymentu

Urządzenie do przeprowadzania eksperymentu *CRD* potrafiło wykryć promieniowanie kosmiczne oraz niskoenergetyczne cząstki wiatru słonecznego. Zakresy energii zjawisk *SPE* są różne i rozciągają się w szerokim spektrum od bardzo niskich wartości do ekstremalnie wysokich.

Dodatkowym celem *Cosmic Ray Detector (CRD)* było badanie cząstek niskoenergetycznych oraz dokonanie pomiaru neutronów pochodzących z powierzchni Księżyca. W eksperymencie zanotowano ich rekordowo wysokie wartości.

7.6 Heat Flow Experiment (HFE)

Ośrodek badawczy	Columbia University, USA
Misje	Apollo 15, Apollo 16 (nieskutecznie), Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Heat Flow Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Badanie przepływu ciepła
Dziedzina	Radiometria
	•

Tab. 7.7.:	Heat Flow	Experiment	(HFE)
------------	-----------	------------	-------

7.6.1 Przedmiot badania

Wymianę ciepła określa II zasada termodynamiki. Ciepło przebiega z obszarów o większej temperaturze do obszarów o mniejszej temperaturze w celu osiągnięcia równowagi termodynamicznej.

Wnętrze Księżyca jest znacznie cieplejsze niż jego powierzchnia. Z tego powodu znaczna ilość ciepła z wnętrza jest wypromieniowywana w kosmos. Źródłem ciepła jest głównie rozpad radionukleotydów pochodzenia naturalnego takich jak tor, uran czy potas. Proces emisji promieniowania jest odpowiedzialny za zwiększanie temperatury we wnętrzu Księżyca.

Prędkość utraty ciepła w postaci wypromieniowywania w kosmos jest znaczącym czynnikiem wpływającym na tektonikę (tworzenie się uskoków i fałdowań powierzchni na skutek deformacji wewnętrznej) oraz na aktywność wulkaniczną.

Heat Flow Experiment (HFE) wykonany w trakcie *Apollo 15* i *Apollo 17* miał na celu pomiar utraty ciepła przez Księżyc na skutek promenowania. Eksperyment próbowano wykonać również podczas misji *Apollo 16*, lecz ze względu na przerwany kabel łączący urządzenie nie funkcjonowało [[BEC+72]].

Wyniki eksperymentu posłużyły do określenia poziomu radioaktywności jako źródła długotrwałego generowania temperatury we wnętrzu oraz określenia parametrów dla modelu termicznej historii Księżyca [[PBB+73]].



7.6.2 Materiały i metody

Ryc. 7.9.: Diagram przedstawia eksperyment Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: [[Lin08]].



Ryc. 7.10.: Zdjęcie przedstawia eksperyment Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: NASA/AS17-134-20493 [[Lin08]].

7.6.3 Przebieg eksperymentu

Eksperyment polegał na stworzeniu dwóch otworów wiertniczych w regolicie księżycowym o głębokości od 1,6 m do 2,3 m. Drugi otwór wiertniczy miał za zadanie potwierdzić pomiary pierwszego. Za pomocą platynowych termometrów oporowych dokonano pomiarów temperatury na wielu poziomach każdego z otworów. Część termometrów umieszczono w dolnych partiach otworu, a pozostałe znajdowały się u jego wylotu [[PBB+73]].

Otwory wiertnicze zostały wykonane za pomocą drążonego wiertła z zamkniętym otworem na dole. Proces odwiertu spowodował zwiększenie temperatury, lecz efekt ten zanikł z czasem samoczynnie. Po osiągnięciu zamierzonej głębokości wewnątrz otworu umieszczono próbnik wieloczujnikowy i osłonę termiczną wokół kabla łączącego sensor z układem elektronicznym *HFE*.

Za pomocą termopar określono prędkość wzrostu temperatury wraz z głębokością. Temperatura w górnych partiach regolitu ma charakter fluktuacyjny ze względu na zmienną aktywność słoneczną oraz intensywność promieniowania cieplnego ze słońca w cyklach dobowych (dób księżycowych). Poprzez monitorowanie temperatury w otworach wiertniczych w trakcie długiego procesu obserwacji możliwe było wyeliminowanie tego wpływu. Pozwoliło to na wniesienie poprawki temperatury powierzchniowej i otrzymanie prawidłowych wyników.

Tylko jeden z dwóch sensorów *HFE* podczas misji *Apollo 15* został umieszczony w odpowiedni sposób na zamierzonej głębokości. Było to spowodowane zatkaniem ciągu wiertniczego w otworze nr 2. Przypuszcza się, że było to spowodowane oddzieleniem dwóch rdzeni, które nastąpiło kiedy astronauci próbowali sforsować zablokowanie wiertła w otworze [[Jon95]].

Przeprojektowanie łączeń drążonego wiertła pozwoliło wyeliminować problem dla misji Apollo 16 i 17.

7.6.4 Rezultaty

Eksperyment *Heat Flow Experiment (HFE)* pozwolił na określenie temperatury powierzchni Księżyca w trakcie cyklu nocy i dnia. Wartość ta wyniosła odpowiednio 76 K (-197°C) w trakcie nocy, oraz 358 K (+85°C) w ciągu dnia. Temperatura pod powierzchnią regolitu księżycowego na głębokości 1,5 m była stała i przyjmowała wartość 253 K (-20°C).

Powyższe dane pozwoliły na określenie właściwości regolitu księżycowego jako izolatora termicznego o bardzo dobrej sprawności [[AAB+72]], [[PBB+73]].

Wyniki pomiarów generowane były w jednostkach mili Wat na metr kwadrat (mW/m2). Podczas eksperymentu określono wartości przepływu ciepła na poziomie 21 mW/m2 dla miejsca lądowania *Apollo 15*, 16 mW/m2 dla obszaru Taurus-Littrow z misji *Apollo 17*. Dla porównania średni strumień cieplny dla Ziemi wynosi 87 mW/m2 [[AAB+72]], [[PBB+73]].

Niski poziom przepływu cieplnego był oczekiwany, ze względu na mniejszy rozmiar Księżyca w porównaniu z Ziemią. Ponadto wpływ na takie wartości ma również brak procesów wulkanicznych w ciągu ostatnich 3 mld lat.

Dane z misji *Apollo 16* zostały utracone na skutek przerwania wiązki kabli urządzenia *HFE*. Kable zostały przypadkowo odcięte od *stacji centralnej*. Podczas misji *Apollo 17* otrzymano dobrej jakości dane, które potwierdziły obserwacje dokonane podczas *Apollo 15*.

Ze względu na to, iż pomiarów dokonano jedynie w dwóch miejscach, brak jest statystycznie znaczących danych aby móc określić średnią dla całej powierzchni. Obydwie wartości zostały określone w pobliżu styku mórz księżycowych oraz wyżyn. Z tego powodu przypuszcza się, iż wartość oczekiwana przepływu cieplnego może być wyższa o 10-20% od przeciętnej dla pozostałych terenów [[Lin08]].

7.7 Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)

Ośrodek badawczy	University of Texas, USA
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Atmospheric Composition Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Pomiar składu atmosfery Księżyca
Dziedzina	Badania atmosferyczne

Tab. 7.8.: Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)

7.7.1 Przedmiot badania

Księżyc posiada bardzo cienką atmosferę zwaną egzosferą sięgającą powierzchni (ang. *Surface-bound Exo-sphere*). Ze względu na niewielkie oddziaływanie grawitacyjne Księżyca gazy wchodzące w skład tej struktury łatwo ulatniają się w przestrzeń kosmiczną. Ze względu na otrzymywanie dużych energii na skutek słonecznego podgrzewania lekkie atomy takie jak hel, wyparowują w przestrzeń kosmiczną w ciągu kilku godzin. Dla cięższych atomów czas ten jest odpowiednio dłuższy. Jednakże w procesie jonizacji wywołanej przez promieniowanie UV pochodzące od słońca, atomy te mogą być uniesione na znaczne odległości od powierzchni Księżyca. Proces ten może trwać nawet do kilku miesięcy.

Ze względu na tempo z którym atomy uciekają w przestrzeń kosmiczną, musi istnieć ciągłe źródło cząsteczek aby utrzymać cienką warstwę atmosfery. Takim źródłem są w głównej mierze przechwycone cząsteczki wiatru słonecznego oraz materiał uwolniony podczas zderzeń komet i meteorytów z powierzchnią Księżyca. Dla atomów, głównie helu-4 oraz argon-40 źródłem może być również odgazowywanie wnętrza Księżyca.

7.7.2 Materiały i metody





7.7.3 Przebieg eksperymentu

Eksperyment Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE) został wykonany przez załogę misji Apollo 17. Zawierał spektrometr masowy, który pozwolił na określenie składu atmosfery księżycowej. Podczas wcześniejszych misji wykazano obecność takiej warstwy za pomocą eksperymentu Cold Cathode Ion Gauge (CCIG).

7.7.4 Rezultaty

W skład atmosfery księżycowej wchodzą głównie trzy gazy: neon, hel, wodór w równych proporcjach. Zaobserwowano również niewielkie ilości metanu, dwutlenku węgla, amoniaku oraz wody. Ponadto zaobserwowano argon-40, którego znacznie większe wartości były notowane w trakcie sejsmicznej aktywności. Argon-40 jest produktem rozpadu radioaktywnego potasu-40 we wnętrzu Księżyca. Wzmożona aktywność sejsmiczna mogła przyczynić się do uwolnienia pokładów gazu z wnętrza na powierzchnię poprzez pęknięcia w skorupie.

7.8 Lunar Atmospheric Detector (LAD)

	1
Ośrodek badawczy	Southwest Center for Advanced Studies, USA
Misje	Apollo 11, 12
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Atmospheric Detector
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Wykrywacz atmosfery Księżyca
Dziedzina	Badania atmosferyczne

Tab.	7.9.:	Lunar	Atmosphe	eric Dete	ector (LAI	D)
I uo.	/ . /	Dana	1 milliospine			-,

7.8.1 Przedmiot badania

Naukowym celem *Lunar Atmospheric Detector (LAD)* było określenie gęstości, temperatury i zmian w atmosferze Księżyca. Eksperyment *LAD* polegał na pomiarze ciśnienia całkowitego neutralnych (nieaktywnych) cząstek, a następnie za pomocą urządzenia wykrywającego jonosferę (ang. *Ionosphere Detector*) pomiar składu zjonizowanych (aktywnych) cząsteczek. Oczekiwano, iż rozkład gęstości będzie się zwiększał podczas dnia księżycowego oraz spadał w trakcie nocy [[CHL+70]].

Pomiary te miały na celu poszerzenie zrozumienia procesów zachodzących na powierzchni Księżyca. Procesy erozyjne widoczne w próbkach pobranych podczas *EVA* w trakcie *Apollo 11* były wskaźnikiem do zjawisk odmiennych do tych zachodzących na Ziemi.

7.8.2 Materiały i metody



LUNAR ATMOSPHERIC DETECTOR

(COLD CATHODE ION GAUGE INSTRUMENT)

Ryc. 7.12.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Atmospheric Detector (LAD). Źródło: [[NAS69]].

Detektor atmosfery księżycowej składał się z zestawu pomiarowego jonów za pomocą zimnej katody, pakietu elektronicznego i elementów strukturalnych takich jak obudowa termiczna.

Za projekt eksperymentu oraz opracowanie i analizę danych był odpowiedzialny Dr Francis Johnson z Southwest Center for Advanced Studies oraz Dallas Evans z Centrum Lotów Załogowych NASA [[CHL+70]].

7.8.3 Przebieg eksperymentu

W trakcie eksperymentu zjonizowane neutralne cząsteczki są zbierane przez katodę, która jest jedną z pary elektrod-sensorów. Powoduje to wytworzenie prądu w obwodzie wejściowym układu elektronicznego. Prąd jest proporcjonalny do gęstości cząstek. Następnie sygnał jest wzmacniany i przetwarzany przez układ elektroniczny w celu transmisji do *stacji centralnej* a później na Ziemię. Temperatura miernika jest odczytywana bezpośrednio i informacja ta jest umieszczana w obwodzie obsługi danych.

Urządzenie działało w siedmiu zakresach dynamicznych. Odpowiednie ustawienie pozwalało na wykrycie gęstości neutralnych atomów z przedziału 7.5E-8 Pa (10E-6 Torr) do 1.33E-9 Pa (10E-12 Torr). Wybrany zakres mógł byś ustawiony zdalnie z Ziemi lub lokalnie za pomocą wewnętrznych zmian parametrów urządzenia [[NAS69]].

Parametry nastawne urządzenia [[NAS69]], [[CHL+70]]:

- Dokładność miernika: \pm 30% powyżej 1.33E-6 Pa (10E-10 Torr)
- Masa: \pm 50% below 1.33E-6 Pa (10E-10 Torr)
- Moc operacyjna: 2 W [Watt]

7.8.4 Rezultaty

Eksperyment pozwalał na określenie gęstości i temperatury neutralnej atmosfery księżycowej, włączając w to chwilowe wariacje będące wynikiem stochastycznych procesów lub wynikające z aktywności słonecznej i pory doby księżycowej.

7.9 Lunar Dust Detector (LDD)

Ośrodek badawczy	NASA Manned Spacecraft Center, USA
Misje	Apollo 11, 12, 14, 15
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Dust Detector
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Wykrywacz pyłu księżycowego
Dziedzina	Petrofizyka

Tab. 7.10.: Lunar Dust Detector (LDD)

7.9.1 Przedmiot badania

Część eksperymentów wykonywanych w ramach programu Apollo miała działać również po opuszczeniu Księżyca przez astronautów. Przed lądowaniami w ramach programu Apollo sądzono, że urządzenia w ramach pakietu ALSEP pokryte zostaną warstwą pyłu uniesionego w skutek startu *LM*. Przyczyną zanieczyszczenia miały być również inne źródła w wyniku długotrwałej ekspozycji na szkodliwe czynniki środowiskowe.

Eksperyment *Lunar Dust Detector (LDD)* wykonano podczas misji *Apollo 11, 12, 14* i *15*. Badanie zostało zaprojektowane w celu pomiaru złogów regolitu Księżycowego na urządzeniach elektronicznych i mechanicznych. Informacja ta była wyliczana na podstawie różnicy w wartości luminacji zarejestrowanej przez fotokomórki paneli fotowoltaicznych w czasie. Obserwowano również poziom zniszczeń paneli przez wysokoenergetyczne promieniowanie jak również poziom odbitego promieniowania podczerwonego i temperaturę powierzchni Księżyca [[NAS69]].

7.9.2 Materiały i metody



Ryc. 7.13.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Dust Detector (LDD). Źródło: [[NAS69]].

Lunar Dust Detector (LDD) zbudowany był z dwóch komponentów:

- pakietu sensorów fotokomórek,
- drukowanego układu obwodów.

Pakietu sensorów składał się z trzech fotokomórek zamontowanych górze osłony przeciwsłonecznej stacji centralnej.

Drukowany układ obwodów umieszczono wewnątrz *stacji centralnej*. Był częścią interfejsu rozdzielania mocy dla podsystemów eksperymentów naukowych w ramach pakietu *ALSEP*.

7.9.3 Przebieg eksperymentu

Eksperyment dokonywał pomiaru mocy wyjściowej i temperatury trzech paneli fotowoltaicznych. Na skutek uszkodzeń wywołanych ekspozycją na promieniowanie oraz pokrywę pyłu parametry wyjściowe urządzenia się obniżały. Pozwoliło to na obliczenie temperatury powierzchniowej i stopnia zanieczyszczenia paneli.

Ponadto podczas misji *Apollo 12* pobrano również próbki zanieczyszczeń amerykańskiej bezzałogowej sondy kosmicznej *Surveyor 3* w celu analizy długotrwałej ekspozycji na promieniowanie kosmiczne.

7.9.4 Rezultaty

Warstwa pyłu zgromadzona na urządzenia okazała się być znacznie niższa od oczekiwanej. Eksperyment był również wykorzystywany do monitorowania długotrwałej deterioracji fotokomórek paneli na skutek promieniowania oraz fluktuacji termicznej.

Eksperyment był uznawany za inżynieryjny w naturze i nie klasyfikował się w zestawieniu eksperymentów naukowych.

7.10 Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)

Ośrodek badawczy	NASA Goddard Space Flight Center, USA
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Ejecta and Meteorite Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Badanie księżycowego i meteorytowego materiału piroklastycznego
Dziedzina	Wulkanologia

Tab. 7.11.: Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)

7.10.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)* był przeprowadzony podczas misji *Apollo 17*. Wykonano go w celu zbadania częstotliwości i charakteru uderzania małych obiektów o powierzchnię Księżyca i pomiaru materiału wyrzucanego w skutek takiego zdarzenia.

Księżyc jest ciałem niebieskim posiadającym pole grawitacyjne i zaniedbywalną warstwę atmosfery. Trajektoria obiektów kosmicznych przelatujących w pobliżu Księżyca jest zakrzywiana w polu grawitacyjnym i może prowadzić do zderzenia mniejszych odłamków z jego powierzchnią. Ze względu na cienką warstwę atmosfery nie będącą w stanie w skutek tarcia zniszczyć tych obiektów, uderzają one z dużymi prędkościami w grunt Księżyca. Przyczynia się to do wyrzucenia regolitu, oraz materiału z innych warstw skorupy. Drobne cząsteczki pyłu przyciągane niewielkim polem grawitacyjnym powoli opadają na powierzchnię tworząc drobnoziarnistą warstwę regolitu [[Jon95]].

Oczekiwano, iż eksperyment będzie w stanie wykryć zarówno obiekty pochodzenia zewnętrznego, tj. odłamki komet czy pył międzygwiezdny, jak również cząstki wyniesione w skutek kolizji innych obiektów o powierzchnię Księżyca, np. człony rakiety *Saturn*, odrzucony moduł *LM*, itp.

7.10.2 Materiały i metody



Ryc. 7.14.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM). Źródło: [[NAS69]].

Ryc. 7.15.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM). Źródło: [[Tea99]].

Eksperyment składał się z trzech płyt sensorów skierowanych w różne kierunki. Pozwalało to na pomiar prędkości i kierunku poruszania się uderzających obiektów.

7.10.3 Rezultaty

Analiza rezultatów wykazała, że drobny pył stanowiący warstwę regolitu księżycowego jest transportowany z niewielką prędkością pomiędzy różnymi regionami w trakcie księżycowego wschodu słońca.

7.11 Lunar lonosphere Detector (LID)

Ośrodek badawczy	
Misje	Apollo 12
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Ionosphere Detector
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Wykrywacz jonosfery księżycowej
Dziedzina	Elektromagnetyzm

Tab. 7.12.: Lunar Ionosphere Detector (LID)

7.11.1 Przedmiot badania

Naukowym celem eksperymentu *Lunar Ionosphere Detector (LID)* było zbadanie naładowanych cząstek w księżycowej atmosferze. W połączeniu z *Lunar Atmospheric Detector (LAD)* zbadano zarówno cząsteczki naładowane jak i nieposiadające ładunku. Mimo zebrania niewielkiej próbki materiału badawczego, wiedza na temat księżycowej jonosfery, jej gęstości i składu przyczyniła się do zrozumienia procesów chemicznych, radioaktywnych oraz wulkanicznej aktywności, jak również składu chemicznego wiatru słonecznego.

Siła uderzenia meteorytów w powierzchnię księżyca powoduje wyparowanie zarówno materiału meteorytowego jak również regolitu księżycowego. Podczas gdy te czynniki przyczyniają się do tworzenia jonosfery i atmosfery, siły oddziałujące na wyrzucony materiał powodują ich ucieczkę w kosmos. Siłami tymi są: niska wartość przyciągania grawitacyjnego, wysoka fluktuacja temperaturowa jak również aktywność wiatru słonecznego, która może również przyczyniać się do tworzenia jak i niszczenia wyżej wymienionych warstw.

Cząsteczki wiatru słonecznego są głównymi składowymi jonosfery, mimo iż zaobserwowane z Ziemi księżycowe "gorące strefy" (ang. *heat spot*) sugerują uwalnianie się gazów z jego wnętrza.
7.11.2 Materiały i metody



ION DETECTOR INSTRUMENT

Ryc. 7.16.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Ionosphere Detector (LID). Źródło: [[NAS69]].

LID używał *Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)* w celu detekcji i zliczenia dodatnio naładowanych jonów. Składał się z dwóch wykrzywionych płytek analizatora, mierzących energię dodatnich jonów. Jedna płytka mierzyła jony z energiami w zakresie od 0,2 eV do 48,6 eV. Zawierała również filtr prędkości w postaci przecinającego się pola magnetycznego i elektrycznego, Urządzenie było zaprojektowane do spowalniania jonów

z prędkościami rzędu od 4 km/s do 935 km/s [[CHL+70]].

Instrument badawczy ważył 8,62 kg i pracował przy poborze mocy na poziomie 60 W i napięciu wejściowym prądu stałego +29 V [[Jon95]].

Za projekt eksperymentu i analizę danych byli odpowiedzialni naukowcy: Dr John Freeman i Dr Curt Michel z Rice University [[NAS69]].

7.11.3 Przebieg eksperymentu

Badając charakter spowolnienia i prędkość pierwotną uzyskano informację na temat masy cząstek wiatru słonecznego dla energii od 10 eV do 3500 eV. Masa pozostałych wysokoenergetycznych cząstek pochodzących z *SEP* nie mogła być określona, ze względu na brak możliwości selektywnego spowalniania cząstek o różnych prędkościach [[CHL+70]].

7.11.4 Rezultaty

Lunar Ionosphere Detector (LID) jest urządzeniem, które pomogło zidentyfikować jonizację naładowanych cząstek i atomów. Posłużyło również do obserwacji ładowania cząstek w trakcie przejścia Księżyca przez pole magnetyczne Ziemi. Eksperyment został zaprojektowany także w celu badania wartości pola elektrycznego Księżycowej powierzchni.

7.12 Lunar Portable Magnetometer (LPM)

Ośrodek badawczy	Centrum badań naukowych NASA AMES, USA
Misje	Apollo 14, 16
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Portable Magnetometer
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Przenośny księżycowy magnetometr
Dziedzina	Magnetometria

Tab. 7.13.: Lunar Portable Magnetometer (LPM)

7.12.1 Przedmiot badania

Metoda mapowania różnic pola magnetycznego jest standardową procedurą wykorzystywaną na Ziemi w badaniach prospekcyjnych. Wiele złóż naturalnych i obiektów podziemnych może powodować anomalie pola magnetycznego. Średnia wartość pola magnetyczne Ziemi wynosi 50µT (50000 nT), a anomalie na poziomie kilkudziesięciu tysięcy Tesli są częste. Ze względu na fakt, iż pole magnetyczne Księżyca jest około trzy rzędy wielkości mniejsze od Ziemskiego, oczekiwane wartości anomalii są proporcjonalnie mniejsze.

7.12.2 Materiały i metody



Ryc. 7.17.: Zdjęcie przedstawia eksperyment Lunar Portable Magnetometer (LPM) w laboratorium. Źródło: NASA/S70-56721 [[Lin08]].

Przedstawiony na Ryc. 7.17. przedstawia układ elektroniczny zawierający przełączniki i trzy wskaźniki wyjściowe. Zestaw przymocowano do *Modular Equipment Transporter*. Głowicę sensora zamocowano na trójnogu i rozstawiano 15 metrów od *MET* w celu dokonania odczytów. Podobny instrument był częścią misji *Apollo 16*, którego elementy elektroniczne umieszczono na tyle *LRV*. Podłączenie do obwodów elektronicznych *LRV* zrealizowano za pomocą płaskiej wiązki kabla elektrycznego o długości 15,2 m.

Zakres pomiarowy instrumentu wynosił 256 nT.

7.12.3 Przebieg eksperymentu

W połączeniu z *Lunar Surface Magnetometer (LSM)* w trakcie misji *Apollo 14* oraz *Apollo 16* wykorzystano również eksperyment *Lunar Portable Magnetometer (LPM)*. Astronauci przenosili urządzenie podczas przemieszczania się po powierzchni Księżyca zarówno z wykorzystaniem *MET (Apollo 14)* jak i *LRV (Apollo 16)*. Pomiarów dokonano w celu rejestracji lokalnej wartości pola magnetycznego.

Podczas użytkowania, trójnóg był rozstawiany 15 metrów od *LRV*. Konieczne było zachowanie odległości trójnoga od pojazdu w celu uniknięcia jego wpływu magnetycznego, jak również oddziaływania pochodzącego oraz astronautów i ich ekwipunku. Urządzenie musiało być wypoziomowane oraz znajdować się w cieniu od słońca [[Jon95]].

Odczyt dokonywany był z urządzenia zamontowanego w *LRV*. Panel składał się z trzech cyfrowych mierników przypominających zegary. Każdy ze wskaźników pokazywał wartości pola magnetycznego dla jednej osi, składowej Księżycowego pola magnetycznego. Astronauci przekazywali na Ziemię odczytane wartości za pomocą komunikacji radiowej [[Jon95]].

7.12.4 Rezultaty

Instrument *Lunar Portable Magnetometer (LPM)* wykorzystany podczas misji *Apollo 14* zarejestrował jedynie dwie wartości lokalnego pola magnetycznego. Oba pomiary dały nieoczekiwane wartości. Pierwszy pomiar dokonano w niewielkiej odległości od punktu lądowania, jednakże poza zasięgiem wpływu pola magnetycznego lądownika *LM*. Zmierzona wartość wynosiła 43 nT. Drugiego pomiaru dokonano na krawędzi krateru Cone (ang. *Cone Crater*). Zarejestrowano wartość wynoszącą 103 nT.

Pomiary te były znacznie przewyższające wartości oczekiwane. Wcześniejsze dane zebrane z wykorzystaniem orbitujących Księżyc satelitów wykazały jednoznacznie, że uśredniona wartość pola magnetycznego nie może przekraczać 10 do 12 nT. Otrzymane wartości były znacznie większe od tego progu. Różnica (60 nT) w dwóch pomierzonych wartościach była równie nieoczekiwana. Tak znaczne różnice nie były oczekiwane przy tak stosunkowo niewielkich odległościach przemieszczenia [[CDF+71]], [[BEC+72]].

W celu zrozumienia procesu gwałtownych zmian wartości pola magnetycznego, eksperyment wykonano ponownie podczas misji *Apollo 16* próbkując pole wielokrotnie.

Efekt ten jest rezultatem naturalnego procesu magnetyzacji skał Księżycowych. Zachodzenie tego procesu występuje również na Ziemi np. w naturalnie występującym i silnie magnetyzującym minerale *lodestone*. Podobny proces tworzenia właściwości magnetycznych skał zachodzi na powierzchni Księżyca [[Jon95]].

7.13 Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)

Ośrodek badawczy	
Misje	Apollo 11, 14, 15
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Laser Ranging Retro-reflector
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Zwierciadło pomiaru dla dalmierza laserowego
Dziedzina	Astrometria

Tab. 7.14.: Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)

7.13.1 Przedmiot badania

Dalmierz laserowy pozwala na precyzyjne określenie odległości oddalonych od siebie obiektów. Składa się z dwóch części. Jedna jest generatorem wiązki lasera, a druga zawiera lustro, lub lustra odbijające promienie w kierunku padania. Na podstawie znanej prędkości światła oraz pomiaru czasu powrotu wiązki możliwe jest precyzyjne wyznaczenie odległości między dwoma elementami zestawu.

Mimo faktu, iż Księżyc posiada wartość albedo na średnim poziomie 0.136 i kierunkowo odbija promienie, to proces odbicia ma charakter nielambertowski, tj. nierównomiernie rozprasza światło we wszystkich kierunkach. Moc odbitego promienia jest niewystarczająca aby móc precyzyjnie określić jego odległość od Ziemi.

7.13.2 Materiały i metody

Ryc. 7.18.: Diagram przedstawia eksperyment Laser Ranging Retro-reflector (LRRR) w konfiguracji zamkniętej. Źródło: [[NAS69]].

Ryc. 7.19.: Diagram przedstawia eksperyment Laser Ranging Retro-reflector (LRRR) w konfiguracji otwartej. Źródło: [[Tea99]].

Powierzchnia odbijająca pasywnego eksperymentu *Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)* składało się z kostek topionej krzemionki. Dla misji *Apollo 11* i *Apollo 14* liczba kostek wynosiła 100. W misji *Apollo 15* wykorzystywano matryce posiadające 300 kostek. Powierzchnię zaprojektowano tak, aby odbijała światło lasera równolegle do kąta jego padania [[Jon95]].

7.13.3 Przebieg eksperymentu

Urządzenie zostało ustawione na powierzchni Księżyca w sposób precyzyjny. Pozwalało to na dokładne jego namierzenie instrumentu. Naukowcy z dowolnego punktu na Ziemi mogli skierować wiązkę lasera w zwierciadło aby uzyskać promień odbity. Różnica czasu pomiędzy emisją, a odebraniem impulsu pozwala na wyznaczenie odległości z 8 centymetrową precyzją. Eksperyment był operacyjny do czerwca 1981 r. [[Jon95]].

7.13.4 Rezultaty

Wykorzystując dane precyzyjnie pomierzonych odległości, ustalono, iż powierzchnia Księżyca ulega znacznym ugięciom i zakrzywieniom na skutek oddziaływania pola grawitacyjnego Ziemi. Do zmian tych dochodzi w trakcie różnych pozycji Księżyca na orbicie okołoziemskiej.

7.14 Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)

Ośrodek badawczy	University of Maryland, USA
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Surface Gravimeter Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Grawimetryczny pomiar powierzchni Księżyca
Dziedzina	Grawimetria

Гаb.	7.15.:	Lunar	Surface	Gravimeter	Experiment	(LSG)
------	--------	-------	---------	------------	------------	-------

7.14.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)* był wykonany tylko raz, tj. podczas misji *Apollo* 17. Głównym celem *LSG* było potwierdzenie istnienia fal grawitacyjnych zgodnie z przewidywaną przez Einsteina teorią. W tym celu dokonano pomiaru odpowiedzi Księżyca na przeciągania pływowe (ang. *tidal forces*) Ziemi. Badano również wolną oscylację Księżyca w cyklach 15-sto minutowych i dłuższych. Zmierzono pionową składową zjawisk sejsmicznych o częstotliwościach dochodzących do 16 Hz. Uzupełniało to dane uzyskane z eksperymentu *Passive Seismic Experiment (PSE)* z misji *Apollo* 12, 14, 15 i 16 [[Jon95]].

7.14.2 Materiały i metody

Ryc. 7.20.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 7.21.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG). Kolorem niebieskim zaznaczono osłonę przeciwsłoneczną [[Lin08]].



Ryc. 7.22.: Zdjęcie wykonane podczas *EVA* 3 przedstawia eksperyment Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG). W tle widać *stację centralną* z elementem *RTG* po lewej i modułem lądownika *LM*. Przed wykonaniem tego zdjęcia astronauta Jack Schmitt tymczasowo pozostawił *UHT* w pobliżu urządzenia *LSG*. Źródło: NASA/AS17-134-20501 [[Lin08]].

W trakcie eksperymentu planowano użyć Księżyca jako anteny do badania fal grawitacyjnych i poznania przyczyny pływowego odkształcenia Księżyca. Instrument zaprojektowano w celu wykonania bardzo dokładnych (z precyzją 1:1011) pomiarów grawitacyjnego pola księżycowego i jego zmiany w czasie.

Urządzenie składało się z bardzo czułej wyważonej sprężyny, która funkcjonowała również jako jednoosiowy sejsmometr.

7.14.3 Przebieg eksperymentu

Po rozstawieniu przyrządu grawimetru podczas drugiego *EVA* w trakcie misji *Apollo 17* odkryto, że wskaźnik sensora *LSG* nie może zostać ustawiony w pozycji zerowej. Astronauta Jack Schmitt próbował zresetować nastawienie urządzenia używając śruby mikrometrycznej. Problem występował także, gdy ponownie wypozycjonowano urządzenie i sprawdzono pozycję przegubu Kardana (ang. *gimbal*) [[Jon95]].

Podczas *EVA* 2 i 3 podjęto próbę naprawy urządzenia. Astronauta Schmitt uderzał w odkrytą górną pokrywę przegubu Kardana, wstrząsał eksperymentem we wszystkich kierunkach, ponownie wypoziomował instrument opierając o twarde podłoże oraz zweryfikował ustawienie kąta nachylenia osłony przeciwsłonecznej. Wszystkie te działania były wykonane w celu uwolnienia elementu masowego, który jak przypuszczano móg być zablokowany. Problem częściowo udało się rozwiązać poprzez wywołanie nacisku na wskaźnik za pomocą mechanizmu o zmiennej masie. Wartość ta była znacznie większa niż limity, z którymi zaprojektowano urządzenie. Spowodowało to częściowe skrócenie wskaźnika. Na wykonywanie prób naprawy poświęcono około 30 minut podczas *EVA* [[Jon95]].

7.14.4 Rezultaty

Późniejsza analiza wykazała, że problem był spowodowany błędem arytmetycznym w czujniku mas. Element był około 2% lżejszy niż poprawny dla operacji w polu grawitacyjnym o przyciąganiu wynoszącym 1/6 wartości na Ziemi. Ustawienia sensora za pomocą śruby mikrometrycznej pozwalały jedynie na poprawki do 1,5% w celu likwidacji niewielkich odchyłów i niedokładności. Błąd był wynikiem wielu rekonfiguracji urządzenia w roku poprzedzającym lot i pomyłki w konwersji wartości przyciągania grawitacyjnego z 1 g do 1/6 g [[PBB+73]].

7.15 Lunar Surface Magnetometer (LSM)

Ośrodek badawczy	University of Arizona, USA
Misje	Apollo 12, 15, 16
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Surface Magnetometer
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Magnetometryczny pomiar powierzchni Księżyca
Dziedzina	Magnetometria

Tab. 7.16.: Lunar Surface Magnetometer (LSM)

7.15.1 Przedmiot badania

Pole magnetyczne Ziemi i Księżyca składa się z dwóch elementów składowych: jednej zmieniającej się w czasie oraz drugiej stabilnej. Część niestabilna jest wynikiem przejścia fal elektromagnetycznych. Część stabilna pola magnetycznego Ziemi (która wchodzi w interakcję z kompasem) przyjmuje wartości od 35 000 nT na równiku do 60 000 nT na biegunach. Wartość gamma pola magnetycznego Księżyca wynosi 6 do 100 nT. Jest to spowodowane obecnością naturalnie występującego zjawiska magnetyzmu w skałach księżycowych. Minerały te powstały na wczesnym etapie ewolucji Księżyca, gdy pole magnetyczne było znacznie silniejsze [[CHL+70]], [[AAB+72]], [[BEC+72]].

Obecnie uznawana teoria wyjaśnia przyczynę naturalnego powstawania zjawiska magnetyzmu skał. Gdy meteoryt znacznej wielkości uderzy w powierzchnię Księżyca w skutek impaktu i wysokich temperatur następuje wyparowanie materiału skalnego, jak również wyrzut w kosmos części powierzchni. Obiekty powstałe w skutek tego działania formują chmury odłamków gruzu i gazów. Chmury te są większe niż Księżyc. W wyniku uwolnienia znacznej ilości ciepła podczas zderzenia, większość gazu zamienia się w zjonizowaną plazmę, w której atomy są pozbawione jednego lub więcej elektronów. Taka plazma pozbawiona jest własności magnetycznych. Chmura rozprzestrzeniając się wokół Księżyca spycha frontalnie własne pole magnetyczne Księżyca. Do przemieszczenia plazmy wokół Księżyca dochodzi w ciągu około 5 minut. W skutek czego zepchnięte pole magnetyczne stanie się znaczne. W tym czasie odłamki skalne opadną na powierzchnię Księżyca koncentrując się na krańcach antypodalnych. W przypadku gdy formacje skalne opadną w trakcie wpływu wysokiego pola magnetycznego, mogą przejść proces nagłej magnetyzacji (ang. *shock magnetization*). Dla porównania, gdy skała zostaje poddana uderzeniu przez młot, może nagle stracić własności magnetyczne i przyjąć te z otaczającego regionu [[Jon95]], [[NAS69]].

Elektryczne własności materiału tworzącego Księżyc determinują jego pole magnetyczne. W wypadku gdyby Księżyc był doskonałym izolatorem fala elektromagnetyczna wiatru słonecznego przeszła by przez niego niezakłócona i połączyła linie pola wokół Księżyca. W skutek czego przepływający prąd wytworzy pole magnetyczne. Pole to niesione z wiatrem słonecznym przyczynia się do powstania systemu prądów elektrycznych na Księżycu i jego powierzchni. Prady te, mogą tworzyć pole magnetyczne, próbujące przeciwdziałać polu jonowemu wiatru słonecznego. Przyczyniłoby się to do zmiany łącznego pola magnetycznego zmierzonego na powierzchni Księżyca. Gdyby zaś istniały struktury geologiczne zachowujące się jak przewodnik, prąd elektryczny przepłynąłby przez niego [[NAS69]], [[BEC+72]].

Celem badawczym eksperymentu był pomiar pola magnetycznego powierzchni Księżyca oraz ustalenie jak naładowane cząsteczki wiatru słonecznego wchodzą w interakcję z polem magnetycznym. Część cząstek jest wchłaniana przez warstwy powierzchniowe Księżyca, a pozostała część może zostać odbita lub przeniesiona na drugą jego stronę.

Pomiaru dokonano niezależnie za pomocą równoległego zbadania różnic wartości potencjału elektrycznego wiatru słonecznego przy powierzchni jak również niezakłóconego odczytu w trakcie sondowania z orbity. W tym celu wykorzystano misję robotyczną Explorer 35 orbitującą wokół Księżyca.

7.15.2 Materiały i metody



LUNAR SURFACE MAGNETOMETER

Ryc. 7.23.: Diagram przedstawia eksperyment Lunar Surface Magnetometer (LSM). Źródło: [[NAS69]].

Parametry techniczne [[Jon95]], [[NAS69]]:

- Wielkość po rozłożeniu: 101,6 cm wysokości, z 152,4 cm odległości od głowicy
- Masa: 7,94 kg
- Szczytowy pobór mocy:
 - Tryb rozpoznania lokacji: 11,5 W
 - Tryb naukowy w dzień: 6,2 W
 - Tryb naukowy w nocy: 12,3 W
 - Tryb kalibracji: 10,8 W

Magnetometr pozwalał na pracę w trzech trybach [[CHL+70]]:

- 1. Tryb rozpoznania lokacji (ang. *Site Survey Mode*) Stan początkowy przed przejściem do każdego pozostałego trybu. Stworzony w celu lokalizacji oraz identyfikacji wpływu magnetycznego obecnego na miejscu pomiaru. Zastosowany w celu likwidacji jego wpływu przy późniejszej interpretacji danych.
- 2. Tryb naukowy (ang. *Scientific Mode*) Normalny tryb operacyjny, w który wartość pola magnetycznego oraz jego skierowanie jest stale rejestrowane. Trzy sensory magnetyczne dostarczają sygnał proporcjonalny do występowania składowych równoległych odpowiednio do ich osi. Każdy czujnik próbkuje z częstotliwością 3 Hz. Jest to wartość większą niż częstotliwość zmian pola magnetycznego. Wszystkie sensory rejestrowały zmiany z rozdzielczością 0,2 nT (nano Tesli) w trzech zakresach:
 - -100 do +100 nT,
 - -200 do +200 nT,
 - -400 do +400 nT.
- 3. Tryb kalibracyjny (ang. *Calibration Mode*) Włączany automatycznie w 12 godzinnych interwałach w celu precyzyjnego ustawienie czujników magnetometru i poprawy dryftu od wartości referencyjnych ustawionych laboratoryjnie.

Za projekt trójosiowego magnetometru transduktorowego (ang. *tri-axis fluxgate magnetometer*), jak również za późniejszą analizę danych odpowiadali Dr Charles P. Sonett (NASA/Ames Research Center), Dr Jerry Modisette (NASA/Manned Spacecraft Center) i Dr Palmer Dyal (NASA/Ames Research Center).

7.15.3 Przebieg eksperymentu

Podczas misji *Apollo 15* w 1971 roku i później podczas *Apollo 16* w 1972 roku na orbicie Księżyca umieszczono wykrywacz elektronowy. Urządzenie wykorzystano do wykonania zdalnego mapowania pola magnetycznego powierzchni. Pomiar ten pozwolił na pokrycie 10% powierzchni Księżyca i umożliwił dostrzeżenie korelacji między kraterami meteorytowymi (ang. *meteor impact basins*) - ciemniejsze struktury, o najczęściej kolistym kształcie na stronie Księżyca zorientowanej do Ziemi, od silnego pola magnetycznego po przeciwnej stronie (niewidocznej z Ziemi).

W wyniku pomiarów pola magnetycznego za pomocą orbitujących satelit określono średnią wartość równą 8 nT. Za pomocą magnetometru dokonano również pomiaru wariacji w czasie spowodowanej propagacją fali elektromagnetycznej w wyniku *SPE*.

W trakcie eksperymentu *Lunar Surface Magnetometer (LSM)* za pomocą trójosiowego magnetometru transduktorowego (ang. *tri-axis fluxgate magnetometer*) zmierzono zmiany pola magnetycznego Księżyca w czasie. Ze względu na możliwość zmiany amplitudy, częstotliwości oraz kierunku pola magnetycznego Księżyca sensor dokonywał pomiarów w trzech wymiarach za pomocą czujników umieszczonych na niewielkich, ustawionych ortogonalnie wysięgnikach zrobionych z włókna szklanego. Części wysuwały się ze *stacji centralnej*.

Układ elektroniczny mieścił się w osłonie u podstawy trzech wysięgników. W tym miejscu zlokalizowano również żyroskop elektromechaniczny. Urządzenie to pozwalało na ustawienie w trybie kalibracji sensorów w dowolnym kierunku. Astronauta ustawiając magnetometr w przedziale +3° w kierunku wschód-zachód używał wskaźnika cienia (ang. *shadwograph*) na centralnej strukturze. Konieczne było przestrzeganie wewnętrznego marginesu +3° w osi pionowej. W tym celu użyto poziomicy zamontowanej na ramieniu wysięgnika sensorów.

7.15.4 Rezultaty

Eksperyment *Lunar Surface Magnetometer (LSM)* został użyty do zbadania zmiany wartości pola magnetycznego na powierzchni Księżyca, jak również do określenia własności elektrycznych Księżyca. Przyczynił się również do lepszego zrozumienia wewnętrznej temperatury i poznania pochodzenia oraz historii tego ciała niebieskiego.

Księżyc w przeciwieństwie do Ziemi nie posiada pola magnetycznego. Jest to spowodowane brakiem wewnętrznego procesu wywołującego efekt dynamo. Okazało się zaskoczeniem, gdy magnetometr ustawiony przez astronautów wykrył nikłe pole magnetyczne. Eksperyment *LSM* udokumentował stałą wartość na poziomie 38 nT dla miejsca lądowania *Apollo 12* i 6 nT dla *Apollo 15* [[CHL+70]], [[AAB+72]].

Uważa się, że magnetyzm powierzchni Księżyca jest pozostałością z czasu, gdy jego pole magnetyczne było aktywnie tworzone przez jądro. Pozostały efekt magnetyczny może być również spowodowany zderzeniem lub zderzeniami w przeszłości z innymi ciałami niebieskimi tj. asteroidy czy komety, które mogły przyczynić się do nadania niewielkich własności magnetycznych. Ta szczątkowa własność magnetyczna jest w fazie zaniku [[CHL+70]], [[AAB+72]], [[BEC+72]].

7.16 Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)

Ośrodek badawczy	Stanford University, USA
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Lunar Seismic Profiling Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Profilowanie sejsmiczne powierzchni Księżyca
Dziedzina	Sejsmika

Tab. 7.17.:	Lunar Seism	ic Profiling	Experiment	(LSPE)
-------------	-------------	--------------	------------	--------

7.16.1 Przedmiot badania

Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE) jest podobny w założeniu do innych eksperymentów sejsmicznych wykonywanych w ramach pakietu *ALSEP*. Niewielkie zmiany dotyczą kwestii projektowych. Urządzenie zbierało dane sejsmiczne z sieci 4 *geofonów* ułożonych w centrum, oraz w kątach 90-cio metrowego metrowego trójkąta równobocznego. Ładunki wybuchowe na powierzchni wywoływały fale sejsmiczną o różnej mocy w celu profilowania sejsmicznego punktu lądowania *Apollo 17* [[Jon95]].

7.16.2 Materiały i metody



Ryc. 7.24.: Diagram przedstawia odbiornik Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [[Tea99]].

Ryc. 7.25.: Diagram przedstawia nadajnik Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [[Tea99]].

	4			
Masa	ładunku	Kole-	Odległość od ALSEP	Czas detonacji od momentu startu LM
[kg]		jność	[km]	(godz:min)
0.45		6	1.3	24:18
1.36		5	2.0	26:52
0.2268		7	0.8	28:08
0.0567		4	0.16	43:23
2.72		1	2.4	48:45
0.113		8	0.25	51:40
0.113		2	0.25	74:42
0.0567		3	0.16	75:46

Tab. 7.18.: W celu profilowania sejsmicznego w trakcie misji Apollo 17 dla eksperymentu Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE) rozstawiono osiem ładunków wybuchowych o specyfikacji podanej poniżej. Źródło: [Lin08].

7.16.3 Przebieg eksperymentu

Podczas eksperymentu astronauta-geolog Jack Schmitt zmuszony był wybrać lokacje *stacji centralnej*, tak aby móc przeprowadzić pozostałe zaplanowane eksperymenty oraz po rozłożeniu trójkąta *LSPE* ominąć wysoki na 3 metry głaz nazwany "skałą geofonu" (ang. *Geophone Rock*).



Key: CS = central station HFE = heat flow experiment LEAM = lunar ejecta and meteorites experiment LMS = lunar mass spectrometer LSG = lunar surface gravimeter RTG = radioisotope thermoelectric generator

FIGURE 10-2.- The LSPE nominal deployment.

Ryc. 7.26.: Mapa przedstawia eksperyment Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: Figure 10-2 [[PBB+73]]



Ryc. 7.27.: Mapa przedstawia rozstawienie eksperymentu Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Kolorem czerwonym wyróżniono lokalizację ładunków wybuchowych rozstawionych podczas eksperymentu. Źródło: Figure 10-7 [[PBB+73]].

7.16.4 Rezultaty

Rozstawienie *geofonów* w kształcie trójkąta równobocznego pozwoliło na pomiar azymutów i prędkości fal sejsmicznych bardziej dokładnie niż *Active Seismic Experiment (ASE)* podczas *Apollo 14* i *Apollo 16*.



Ryc. 7.28.: Obrazek przedstawia wykres zarejestrowany podczas eksperymentu Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [[Lin08]].

7.17 Neutron Probe Experiment (NPE)

Ośrodek badawczy	California Institute of Technology, USA
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Neutron Probe
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Sonda neutronowa
Dziedzina	Radiometria

Tab. 7.19.: Neutron Probe Experiment (NPE)

7.17.1 Przedmiot badania

Górne warstwy powierzchni księżyca składają się z regolitu księżycowego. W jego skład wchodzi grunt oraz drobne fragmenty skalne wytworzone w trakcie ciągłego procesu zderzania meteorytów o Księżyc. Na skutek impaktu zostaje uformowany krater, a materiał skalny zostaje wyrzucony. W zależności od rozmiaru meteorytu oraz jego prędkości siła uderzeniowa może unieść materiał na różne odległości. Proces ten powtarzany przez miliardy lat spowodował rozdrobnienie materiału skalnego do postaci pyłu, który jest dobrze wymieszany z innym materiałem skalnym.

Gdy wysokoenergetyczne cząstki promieniowania kosmicznego uderzają o powierzchnię Księżyca, reakcje jądrowe pomiędzy protonami i atomami w podłożu powodują emisję neutronów. Cząstki te mogą przenikać niewielkie głębokości wewnątrz regolitu. Neutrony są docelowo wchłaniane przez inne atomy, a skutkujące tym reakcje jądrowe prowadzą do formowania się radioaktywnych izotopów, które później ulegają rozpadowi do form stabilnych. Te radionukleotydy pozwalają na określenie tempa mieszania się warstw regolitu. Ze względu na to, że neutrony mogą jedynie spenetrować niewielkie odległości wewnątrz warstw osadowych regolitu. Znalezienie radioaktywnych cząstek na większych głębokościach świadczy o mieszaniu warstw (do mierzonej głębokości) w czasie mniejszym niż czas rozpadu izotopu. Pomiar mieszania się regolitu wymaga trzech rzeczy [[Jon95]]:

- dużej liczby radioaktywnych cząstek w próbkach rdzeni przywiezionych przez astronautów na Ziemię,
- znania prędkości rozkładu radionukleotydów (określonych w badaniach laboratoryjnych na Ziemi),
- prędkości tworzenia radioaktywnych izotopów w wyniku bombardowania neutronami, wg. pomiaru z eksperymentu *Neutron Probe Experiment (NPE)*.

7.17.2 Materiały i metody



FIGURE 18-1.-A schematic, cross-sectional view of the lunar neutron probe, illustrating the disposition of the targets and detectors in the activated (on) and deactivated (off) modes. The boron targets and mica detectors are mounted on the central rod; the plastic detectors and uranium targets are mounted on the rib cage. When activated, the targets face their respective detectors; when deactivated, the target and detector systems are 180° out of alinement.

Ryc. 7.29.: Diagram przedstawia eksperyment Neutron Probe Experiment (NPE). Źródło: Fig. 18-1 [[PBB+73]].

Eksperyment *Neutron Probe Experiment (NPE)* wykonano podczas misji *Apollo 17* w celu określenia prędkości mieszania się warstw regolitu. Składał się z 2,4 metrowego pręta z przytwierdzonymi detektorami. Pręt umieszczano w otworach wiertniczych utworzonych na potrzeby pobrania próbek podpowierzchniowych. Detektory rejestrowały liczbę neutronów przenikających poszczególne warstwy na różnych głębokościach.

Eksperyment zaprojektowano w celu pomiaru tempa wychwytu niskoenergetycznych neutronów jako funkcji głębokości regolitu księżycowego. Pomiar przeprowadzono za pomocą dwóch sposobów detekcji śladów padania cząstek [[Jon95]]:

- plastikowego detektora złożonego z filmu trioctowej celulozy w połączeniu z boronem-10 w celu zapisu emisji cząstek alfa,
- detektorów mica w celu wykrycia śladów fragmentów wywołanego neutronami rozpadu uranu-235.

Sensor aktywowano i dezaktywowano w skutek zmiany pozycji urządzenia, gdy detektor i cel wychodziły z układu

współosiowego. Mechanizm załączania i wyłączania był konieczny w celu zapobiegania rejestracji akumulacji wydarzeń tła wytworzonych w trakcie przez neutrony z generatora mocy zestawu ALSEP i z neutronów pochodzących z promieniowania kosmicznego wewnątrz statku podczas lotu między Księżycem a Ziemią [[PBB+73]].

Punkty źródłowe uranu-238 były umieszczone na przyrządzie w celu zapewnienia znaków odniesienia, aby sprawdzić, czy sonda została prawidłowo aktywowana. Podobnie zamieszczono również pochłaniacze kadmu-48 w środku oraz na dole próbnika w celu otrzymania spektrum energii neutronów na poziomie 0,35 eV. Dalsze widmowe informacje były uzyskiwane poprzez analizę kryptonu-80 i kryptonu-82 wytworzonych przez wych-wyt bromku neutronowego w bromku potasu zawartym w próżniowych kapsułkach, które umieszczono w górnej, środkowej i dolnej części sondy, [[Jon95]], [[PBB+73]].

7.17.3 Przebieg eksperymentu

Próbnik neutronowy rozstawiono podczas pierwszego *EVA*. Eksperyment przebiegł prawidłowo od czasu jego aktywacji 12 grudnia 1972 roku do czasu wyłączenia następnego dnia. Urządzenie zabrano na końcu trzeciego *EVA*, po ekspozycji trwającej 49 godzin. Instrument wraz z rejestratorami cząstek przewieziono na Ziemię w celu analizy.

7.17.4 Rezultaty

Stopień wymieszania regolitu zależy od wielkości ciała uderzającego. Masywniejsze obiekty mieszają warstwy na większych głębokościach. Mniejsze uderzenia są znacznie częstsze i z tego powodu mieszanie się w warstwie przypowierzchniowej zachodzi z większą częstotliwością. Obecne szacunki prowidują, że do mieszania się warstw na głębokości 1 cm dochodzi raz na milion lat. Mieszanie się warstwy 1 metra zachodzi co miliard lat. Tempo zostało oszacowane na podstawie określenia liczby radioaktywnych izotopów w skorupie księżycowej pobranej z rdzenia otworu wiertniczego jak również na podstawie chemicznych pomiarów tych próbek.

7.18 Passive Seismic Experiment (PSE)

Ośrodek badawczy	University of Texas, USA
Misje	Apollo 12, 14, 15, 16
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Passive Seismic Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Pasywny eksperyment sejsmiczny
Dziedzina	Sejsmika

Tab. 7.20.: Passive Seismic Experiment (PSE)

7.18.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Passive Seismic Experiment (PSE)* wykonano w celu określenia właściwości podpowierzchniowych i pomiaru ekstremalnie niewielkich wibracji powierzchni księżycowej spowodowanej przez odległe trzęsienia ziemi, jak również wywołane przez człowieka eksplozje i uderzenia statków kosmicznych.

Passive Seismic Experiment (PSE) badał propagację fal sejsmicznych przez Księżyc i pozwolił na bardzo szczegółowe określenie jego wewnętrznej struktury.

W ciągu roku na Ziemi dochodzi do ponad 1 mln trzęsień ziemi. Na księżycu zarejestrowano ich około 300 i o znacznie mniejszej skali. W przypadku zaobserwowania zjawiska sejsmicznego przez trzy lub więcej oddalonych od siebie sejsmometrów, czas i lokacja wydarzenia mogła zostać określona z dużą precyzją. Ze względu na fakt, iż fale sejsmiczne odległych wydarzeń podróżują głębiej wewnątrz struktury Księżyca niż fale zjawisk bliskich, poprzez pomiar drgań na różnych odległościach od sejsmometru możliwe jest określenie prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych oraz ich charakterystyka głębokościowa [[Jon95]].

Sejsmometr użyty podczas misji *Apollo 11* zwracał dane tylko przez trzy tygodnie ale pozwolił na zarejestrowanie użytecznych sygnałów. Bardziej zaawansowane urządzenie zastosowano podczas misji Apollo 12, 14, 15 i 16.

Dane sejsmiczne uzyskiwano do końca września 1977 r. Każdy z sejsmometrów mierzył wszystkie trzy składowe przesunięć powierzchni, tj. góra-dół, północ-południe, wschód-zachód [[CDF+71]].

7.18.2 Materiały i metody



PASSIVE SEISMIC EXPERIMENT

Ryc. 7.30.: Diagram przedstawia eksperyment Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [[Tea99]].

Gdy instrument rejestrował odpowiedzi na poruszanie się powierzchni wywoływało to harmoniczne drgania spowodowane bezwładnością centralnej dźwigni układu i elementów masowych. Wibracje były wykrywalne przez elektroniczne układy kondensatorowe. Wewnętrzny zestaw silników stale utrzymywał urządzenie w poziomie z dokładnością do kilku sekund kątowych.

Sieć czterech urządzeń rozstawionych podczas misji Apollo pozwoliła sejsmologom na lokalizację księżycowych trzęsień ziemi w trzech wymiarach. Uzyskano możliwość badania prędkości sejsmicznych i propagacji fal jak również na charakterystykę podpowierzchniowych materiałów.

7.18.3 Przebieg eksperymentu

Passive Seismic Experiment (PSE) codziennie rejestrował uderzenia meteorytów oraz średnio dwa księżycowe trzęsienia ziemi miesięcznie. Pomiar był dokonywany do głębokości 800 km.

Naukowcy projektując eksperyment mieli nadzieję, że księżycowe trzęsienia ziemi i uderzenia meteorytów odpowiedzą na dwa fundamentalne pytania:

- czy księżyc posiada płynne jądro?
- jakie jest wnętrze księżyca?

Aby rozwiązać te kwestie naukowcy potrzebowali przynajmniej jednego impaktu po przeciwnej stronie księżyca o wartości przekraczającej 1019 ergów. 13 maja 1972 r. na stronie księżyca zorientowanej ku Ziemi zarejestrowano wydarzenie sejsmiczne o wartości 1100 kg. 19 września 1973 r. doszło do uderzenia po niewidocznej stronie z energią rzędu 1018 ergów. 17 lipca 1972 trzy miesiące po rozstawieniu eksperymentów podczas misji *Apollo 16* zaobserwowano uderzenie o największej zarejestrowanej dotychczas sile. Do uderzenia doszło po niewidocznie stronie Księżyca w pobliżu Mare Moscoviense (26°N, 147°E) [[Jon95]].

Zauważono również wzrost aktywności sejsmicznej gdy Księżyc był w skrajnych położeniach orbity wokół Ziemi, tj. w apogeum (najdalszej) i perigeum (najbliższej) odległości. Wibracje generowane przez zmiany temperatury powierzchni i rozszerzanie się materiału skalnego były rejestrowane każdego dnia księżycowego [[BEC+72]].

7.18.4 Rezultaty

W ciągu ośmiu lat z zbierania danych przez urządzenia pakietu ALSEP, sejsmometry zarejestrowały 10 tys. wstrząsów tektonicznych i 2000 uderzenia meteorytów [[Orl00]].

Informacje sejsmiczne, magnetometryczne i uzyskane podczas eksperymentu *HFE* przyczyniły się do zrozumienia podstawowych charakterystyk wnętrza Księżyca. Uważa się że skorupa jest wielowarstwowa i ma miąższość 50 km. Złożona jest z 20 kilometrowej warstwy przypowierzchniowej. Górna część płaszcza księżyca ma miąższość 500 km i złożona jest z jest jednorodnej warstwy oliwinu oraz piroksenu. Poniżej tej wartości dane sejsmiczne wskazują na bogate w żelazo jądro. Jednakże ilość danych nie jest wystarczająca do jednoznacznego określenia, iż jest ono w stanie płynnym [[Jon95]].

Odkryto, iż Księżycowe trzęsienia ziemi występują cyklicznie w stałych miejscach. Czas występowania wewnętrznych trzęsień ziemi jest skorelowany z cyklem pływów na tyle, iż uważa się, że te siły odgrywają znaczącą rolę w powstawaniu wstrząsów [[BEC+72]].

Większość zjawisk zaobserwowanych przez sejsmometry była albo trzęsieniami ziemi lub uderzeniami meteorytów. Jednakże zaobserwowano również pojedyncze uderzenia członów trzecich stopni rakiety Saturn V i kilku modułów Księżycowych celowo rozbitych o powierzchnię Księżyca po tym jak zostały opuszczone przez astronautów. Te wytworzone przez człowieka zjawiska sejsmiczne o precyzyjnie określonych czasach i miejscach pozwalały na skalibrowanie działania sieci urządzeń [[CDF+71]].

Passive Seismic Experiment (PSE) przyczynił się do poszerzenia wiedzy na temat [[CHL+70]], [[CDF+71]], [[AAB+72]], [[BEC+72]]:

- Wewnętrznej budowy księżyca. Podobnie jak Ziemia, Księżyc posiada skorupę, płaszcz i jądro. Skorupa księżyca jest bogata w plagioklazy (minerały skałotwórcze o składzie mieszanym z grupy skaleni, tj. skalenie sodowo-wapniowe) i średnią miąższość wynoszącą 50 km. Płaszcz Księżycowy leży pomiędzy skorupą a jądrem i składa się głównie z minerałów takich jak oliwin i piroksen. Jądro natomiast najprawdopodobniej złożone jest z żelaza i siarki. Rozciąga się od środka Księżyca do około 450 km, tj. 25% średnicy księżyca. Jest to wartość znacznie mniejsza w porównaniu z Ziemią, której Jądro rozciąga się do 54% średnicy. Jednakże wielkość jądra księżycowego nie jest zbyt dobrze określona ze względu na na brak możliwości dokonania precyzyjnych pomiarów sejsmicznych. Eksperymenty takie *LRRR* i pomiary magnetometryczne pozwoliły na precyzyjniejsze określenie wielkości jądra [[Jon95]].
- 2. Rozkład księżycowych źródeł aktywności sejsmicznej. Ponad 1700 uderzeń meteoroidów zostało zarejestrowanych przez sieć sejsmometrów. Rozkład przedziału mas szacuje się na wartości od 0,5 do 5000 kg. Większość trzęsień ziemi występowała na głębokości od 800 do 1000 km. Do tych wydarzeń dochodziło średnio raz na miesiąc w ponad 100 różnych miejscach. Wskazuje to na wpływ rozciągania mas skalnych wywołanych siłami pływowymi zależnymi od położenia orbitalnego Księżyca i Ziemi. Księżycowe trzęsienia ziemi osiągały wartość 2 w skali Richtera. Ilość energii uwolnionej podczas trzęsienia ziemi (na Ziemi) w typowym roku jest 10 milionów razy większa, niż ta uwolniona przez aktywność sejsmiczną księżyca. W trakcie obserwacji wykryto zaledwie kilka przypowierzchniowych trzęsień ziemi [[Jon95]].
- 3. Tłumienie fal sejsmicznych. Uderzenia meteoroidów powodują rozdrabnianie materiału skalnego w górnej warstwie 20 km skorupy księżycowej. Pęknięcia powodują rozprzestrzenianie się fal sejsmicznych w tych regionach. Poniżej 20 km głębokości fale odbicia fal sejsmicznych zanikają na skutek zarówno zamknięcia porowatości spowodowanego wzrostem ciśnień oraz zmianą składu chemicznego skorupy. Wewnątrz płaszcza fale sejsmiczne są tłumione znacznie w mniejszym stopni niż w analogicznej warstwie na Ziemi, gdzie tłumienie fal sejsmicznych jest wzmocnione wysokimi temperaturami i obecnością wody. Niski poziom tłumienia fall sejsmicznych na księżycu wskazuje na suche wnętrze o niskiej temperaturze. Ze względu na różnicę wielkości między Ziemią a Księżycu mrzypuszcza się, że proces schładzania nastąpił znacznie szybciej. Brak wody na Księżycu wynika z historii jego powstawania z suchego materiału zubożonego w substancje lotne, będącego konsekwencją zderzenia obiektu o wielkości Marsa z Ziemią. Poniżej 1000 km głębokości następuje wzrost tłumienia fal sejsmicznych. Prawdopodobnie wskazuje to na obecność niewielkiej ilości stopionych skał [[Jon95]]

Do pierwszego zarejestrowanego zdarzenia sejsmicznego wywołanego przez człowieka doszło doszło 1969-11-20 o 10:17 UTC. Sejsmometr wykrył falę sejsmiczną pochodzącą od kontrolowanego impaktu modułu księżycowego *Apollo 12* o powierzchnię Księżyca. *LM* uderzył z prędkością 6048 km/h. Uderzenie wytworzyło krater o średnicy 9 m zorientowany 72 km od pierwotnego miejsca lądowania. Spowodowało to również wzbudzenie wibracji o nieoczekiwanym charakterze. Amplituda fali rosła przez 8 minut, aż do osiągnięcia maksimum. Następnie drgania utrzymywały się przez około 55 minut, aż do wytracenia energii przez falę. Nawet po tym okresie wciąż rejestrowano nieznaczne odchylenia od normy. Dotychczas na Ziemi nigdy nie zaobserwowano zjawiska o podob-nym przebiegu [[Jon95]].

Wg. wiedzy badaczy na Księżycu nie znajduje się wystarczająca ilość wilgotności pozwalająca na tłumienie wibracji. Powierzchnia Księżyca pokryta jest gruzem, który przenosi drgania fal sejsmicznych w sposób odmienny od procesu na Ziemi. Zjawisko to jest spowodowane suchą naturą skał księżycowych.

7.19 Passive Seismic Experiment Package (PSEP)

Apollo 11
Passive Seismic Experiment Package
Zestaw eksperymentalny eksperymentu sejsmicznego
Sejsmika

 Tab. 7.21.: Passive Seismic Experiment Package (PSEP)

7.19.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Passive Seismic Experiment (PSE)* wykonano w celu określenia właściwości przypowierzchniowych i pomiaru ekstremalnie niewielkich wibracji powierzchni księżycowej spowodowanej przez odległe trzęsienia ziemi, jak również wywołane przez człowieka eksplozje i uderzenia statków kosmicznych.

Passive Seismic Experiment (PSE) badał propagację fal sejsmicznych przez Księżyc i pozwolił na bardzo szczegółowe określenie jego wewnętrznej struktury.

Sejsmometr użyty podczas misji *Apollo 11* zwracał dane tylko przez trzy tygodnie ale pozwolił na zarejestrowanie użytecznych sygnałów.

7.19.2 Materiały i metody



PSEP DEPLOYED CONFIGURATION

Ryc. 7.31.: Diagram przedstawia eksperyment Passive Seismic Experiment Package (PSEP). Źródło: [[Tea99]].

Instrument składał się z czterech sejsmometrów zasilanych za pomocą dwóch paneli fotowoltaicznych. Trzy sejsmometry rejestrowały fale długookresowe i jeden o polaryzacji pionowej rejestrujący fale krótkookresowe.

7.19.3 Przebieg eksperymentu

Urządzenie zasilano za pomocą paneli słonecznych. Z tego powodu eksperyment mógł wykonywać pomiary jedynie w czasie dni księżycowych. Podczas 340 godzinnej nocy, gdy temperatury spadały do -170°C instrument podgrzewano za pomocą *RTG* aby utrzymać temperaturę -54°C. Było to pierwsze znaczące użycie energii jądrowej w załogowych misjach kosmicznych. Każdy spadek temperatury poniżej tej wartości mógł spowodować nieodwracalne uszkodzenie urządzenia.

W czasie dnia księżycowego naukowcy kontrolowali uwalnianie ciepła przez serię czasowego odcinania zasilania. Bezpośrednio przed za panięciem nocy księżycowej sejsmometr automatycznie przechodził w stan uśpienia całkowicie wstrzymując komunikację.

Instrument przestał odpowiadać 1969-08-25 o 04:00 UTC najprawdopodobniej ze względu na przegrzanie wywołane wysoką temperaturą w ciągu dnia księżycowego.

7.19.4 Rezultaty

Za pomocą urządzeń śledzono odpowiedź sejsmiczną uderzeń meteorytów i księżycowych trzęsień ziemi. W czasie około miesięcznej pracy operacyjnej urządzenia zarejestrowano blisko 200 kolizji meteorytowych. Dane odnośnie siły, czasu trwania i orientacyjnego kierunku zjawiska sejsmicznego przekazano do stacji odbiorczych na Ziemi.

W późniejszych misjach eksperyment został zmodyfikowany i występował pod nazwą *Passive Seismic Experiment* (*PSE*).

7.20 Surface Electrical Properties Experiment (SEP)

Ośrodek badawczy	Massachusetts Institute of Technology, USA
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Surface Electrical Properties Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Pomiar właściwości elektrycznych powierzchni Księżyca
Dziedzina	Elektromagnetyzm

Tab. 7.22.: Surface Electrical Properties Experiment (SEP)

7.20.1 Przedmiot badania

Surface Electrical Properties Experiment (SEP) wykonano aby określić przewodność elektromagnetyczną, absorpcję i charakterystykę odbicia powierzchni Księżyca oraz warstw przypowierzchniowych w celu późniejszego wytworzenia modelu geologicznego górnych warstw skorupy księżyca.

Częstotliwości fali generowanej przez transmiter pozwalały na określenie właściwości obiektów podpowierzchniowych. Obecność wody powoduje zmianę przewodności elektrycznej wynoszącą kilka rzędów wielkości. Wszelkie ślady wody zostały by wykryte.

7.20.2 Materiały i metody



Ryc. 7.32.: Zdjęcie przedstawia nadajnik *Surface Electrical Properties Experiment (SEP)*. Astronauta Jack Schmitt jest w trakcie schylania się w celu otworzenia trójdzielnego zestawu paneli fotowoltaicznych, które generują zasilanie dla *SEP*. Transmiter jest zlokalizowany na przecięciu śladów łazika *LRV*, które Gene Cernan pozostawił przed rozłożeniem eksperymentu. Na zdjęciu widać połączenie kablowe anteny w kierunku południowym (górna lewa strona), wschodnim (dolna lewa strona) i znów na południowym (dolne prawa strona). Zdjęcie jest częścią panoramy stworzonej przez David Nathan, której części astronauta Cernan wykonał podczas rozstawiania eksperymentu. Zdjęcie przedstawia również zastosowanie srebrnej taśmy (ang. *duct tape*) użytej przez załogę w celu przytrzymania otwartych paneli słonecznych. Źródło: NASA/AS17-134-20438 [[Lin08]].



Ryc. 7.33.: Zdjęcie przedstawia odbiornik *Surface Electrical Properties Experiment (SEP)* zamontowany na tyle siedzenia *LMP* zamontowanego na łaziku *LRV*. Źródło: NASA/AS17-135-20543 [[Lin08]].

Eksperyment *Surface Electrical Properties Experiment (SEP)* składał się z wieloczęstotliwościowej transmitującej anteny rozłożonej w pobliżu lądownika księżycowego *LM* i przenośnej szerokopasmowej wzajemnie ortogonalnej anteny odbiorczej z odzyskiwalnym rejestratorem znajdującej się na *LRV* [[Jon95]].

Transmiter wytwarzał falę ciągłą na częstotliwościach 1; 2,2; 4; 8,1; 16 i 32.1 MHz [[Jon95]].

7.20.3 Przebieg eksperymentu

W trakcie eksploracji powierzchni podczas postojów łazika transmitowano sygnał elektryczny przez regolit księżycowy. Pomiar był rejestrowany na urządzeniu zamontowanym na łaziku *LRV*. Porównanie sygnału transmitowanego oraz odbieranego pozwoliły na wyznaczenie właściwości elektrycznych regolitu. Informacja ta miała potwierdzić analizę wykonaną z orbity za pomocą *Bistatic Radar and Lunar Sounder Experiments*.

Astronauci przetransportowali i rozstawili transmiter około 100 m od lądownika *LM* a następnie ustawili anteny. Odbiornik i rejestrator umieszczono na *LRV*. Zespół określał położenie łazika w odniesieniu do transmitera za każdym razem, gdy zatrzymywano się aby dokonać pomiaru. W celu określenia dystansu zliczano ilość obrotów kół. Różnica pomiędzy liczbą obrotów prawego i lewego koła pozwalała na wyliczenie azymutu.

Po dokonaniu pomiarów i powrocie do punktu startowego astronauci wymontowali rejestrator i zabrali na Ziemię w celu analizy danych.

7.20.4 Rezultaty

Eksperyment pozwolił na określenie warstw, poszukiwanie złóż wody podpowierzchniowej i pomiar właściwości in situ jako funkcji głębokości. Wybrany zakres częstotliwości pozwalał na określenie powyższych cech dla głębokości od kilku metrów do kilku kilometrów [[Jon95]].

Ponadto wykazano, że górne 2 km skorupy Księżyca są ekstremalnie wysuszone, co jest spójne z pomiarami składu skał księżycowych.

Elementy elektroniczne i rejestrator zostały ukryte w obudowie zaprojektowanej w celu ochrony termicznej. Niesprawność spoiwa na tylnej stronie rzepu, który przytrzymywał osłonę zamkniętą spowodował przegrzanie urządzenia, co znacząco wpłynęło na ilość użytecznych danych zebranych w trakcie eksperymentu [[Jon95]].

7.21 Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)

	-
Ośrodek badawczy	Rice University, USA
Misje	Apollo 12, 14, 15
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Suprathermal Ion Detector Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	
Dziedzina	Elektromagnetyzm

Tab. 7.23.: Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)

7.21.1 Przedmiot badania

W celu pomiaru liczby oraz typu jonów na Księżycu wykonano dwa eksperymenty: *Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)* (*SIDE)* i *Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)* (*CCIG)*. Badania te były ze sobą ściśle skorelowane i wykorzystywały jedno urządzenie połączone krótkim kablem elektrycznym.

Eksperyment *SIDE* miał na celu pomiar własności strumienia pola magnetycznego, liczby cząstek, gęstości, prędkości i relatywnej energii naładowanych dodatnio jonów i ich wpływu na powierzchnię Księżyca. Zaobserwowane cząsteczki stanowiły głównie atomy wodoru jak i helu. Obserwacja ta wynikała ze składu wiatru słonecznego.

7.21.2 Materiały i metody



Ryc. 7.34.: Diagram przedstawia eksperyment Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 7.35.: Diagram przedstawia połączenie eksperymentów Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE) / Cold Cathode Ion Gauge (CCIG) w konfiguracji dla Apollo 12. Źródło: [[Lin08]].

Urządzenie dla *Apollo 15* zostało przeprojektowane ze względu na uwagi dotyczące skomplikowanego sposobu rozkładania zestawu zgłaszane przez załogi wcześniejszych misji.

7.21.3 Przebieg eksperymentu



Ryc. 7.36.: Zdjęcie przedstawia rozstawione urządzenie *SIDE* (po lewej stronie) i *CCIG* (podłączone po prawej stronie). Źródło: NASA/AS15-86-11596 [[Tea99]].

Nachylenie urządzenia eksperymentu *SIDE* przedstawione na Ryc. 7.36., jest wynikiem charakterystyki szerokości geograficznej miejsca lądowania *Apollo 15*.

Urządzenie pomiarowe SIDE/CCIG wyposażono w kierunkowy sensor zorientowany w płaszczyźnie ekliptycznej pod kontem 15 stopni od Księżycowego lokalnego południka. Ze względu na znaczną różnicę w długościach geograficznych miejsc lądowań, anteny urządzenia skierowano pod kątem 38 stopni na zachód (*Apollo 12*), 2 stopnie na wschód (*Apollo 14*) i 19 stopni na zachód (*Apollo 15*). W trakcie pomiarów urządzenie nie było bezpośrednio skierowane w stronę nadchodzącego wiatru słonecznego.

7.22 Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

Ośrodek badawczy	University of Berne, Szwajcaria
Misje	Apollo 11, 12, 14, 15, 16
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Solar Wind Composition Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Badanie składu wiatru słonecznego
Dziedzina	Elektromagnetyzm

Tab. 7.24.: Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

7.22.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Solar Wind Composition Experiment (SWCE)* został wykonany w celu określenia składu pierwiastków oraz izotopów gazów szlachetnych, tj. hel, neon i argon, we wietrze słonecznym.

7.22.2 Materiały i metody



Ryc. 7.37.: Diagram przedstawia eksperyment Solar Wind Composition Experiment (SWCE). Źródło: [[NAS69]].

Eksperyment składał się z folii aluminiowej o grubości 0,5 mm. Folia miała na celu uwięzienie poszczególnych cząsteczek wiatru słonecznego w grubej na kilkaset warstw atomowych strukturze. Została zaprojektowana tak, aby pozwolić na przejście promieniowaniu kosmicznemu bez interakcji.

7.22.3 Przebieg eksperymentu

Astronauci rozwijali folię zaraz po przybyciu podczas pierwszego *EVA* i zwijali przed odlotem. Folię transportowano na Ziemię w celu analizy przez Szwajcarskich naukowców z uniwersytetu w Bernie.

Czasy ekspozycji eksperymentu były następujące [[Jon95]]:

- Apollo 11: 1 godzina 17 minut,
- Apollo 12: 18 godzin 42 minut,
- Apollo 14: 21 godzin,
- Apollo 15: 41 godzin 8 minut,
- Apollo 16: 45 godzin 5 minut.

7.23 Solar Wind Spectrometer (SWS)

Ośrodek badawczy	Jet Propulsion Laboratory			
Misje	Apollo 12, 15			
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Solar Wind Spectrometer			
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Pomiar spektrometryczny wiatru słonecznego			
Dziedzina	Elektromagnetyzm			

Tab. 7.25.: Solar Wind Spectrometer (SWS)

7.23.1 Przedmiot badania

Wiatr słoneczny składa się z materii stale wyrzucanej ze Słońca. Oddziaływanie to rozciąga pole magnetyczne Ziemi daleko poza samą planetę, przekraczając orbitę Księżyca. Następnie cząstki rozprzestrzeniają się dalej w Układzie Słonecznym.

Eksperyment *Solar Wind Spectrometer (SWS)* pozwalał na zbadanie energii, gęstości, kierunku i wariancji wyżej wymienionych parametrów. jak również na badanie pola magnetycznego Ziemi w trakcie przekraczania jego przez Księżyc.

Poza *Solar Wind Spectrometer (SWS)* przeprowadzono także niezależny eksperyment *Solar Wind Composition Experiment (SWCE)*, który polegał na zebraniu próbek gazów wiatru słonecznego celem transportu ich na Ziemię i analizy laboratoryjnej.

7.23.2 Materiały i metody



Ryc. 7.38.: Diagram przedstawia eksperyment Solar Wind Spectrometer (SWS). Źródło: [[NAS69]].



Ryc. 7.39.: Diagram przedstawia eksperyment Solar Wind Spectrometer (SWS). Źródło: [[Lin08]].



Ryc. 7.40.: Zdjęcie przedstawia eksperyment Solar Wind Spectrometer (SWS). Konfiguracja po rozstawieniu urządzenia. Źródło: NASA/AS15-86-11593 [[Lin08]].

Urządzenie składało się z 7 sensorów zlokalizowanych pod pokrywą chroniącą przed pyłem księżycowym. Pozwalało na pomiar wiatru słonecznego na powierzchni księżyca, określenie jego głównych właściwości i interakcji z Księżycem.

Instrument miał masę 5,44 kg. Jego napięcie wejściowe wynosiło 28,5 V a średnia wartość pobieranej mocy wynosiła 3,2 W. Zakresy pomiarowe urządzenia [[AAB+72]], [[Jon95]]:

- elektrony:
 - modulacja wysokiego wzmocnienia: 10,5 1376 eV (elektronowoltów),
 - modulacja niskiego wzmocnienia: 6,2 817 eV,
- protony:
 - modulacja wysokiego wzmocnienia: 75 9600 eV,
 - modulacja niskiego wzmocnienia: 45 5700 eV,

- zakres obserwacji: 6,0 sr (steradianów),
- rozdzielczość kątowa: około 15°,
- minimalny wykrywalny strumień pola: 106 cząstek/cm2/s.

Za eksperyment odpowiedzialni byli: Dr Conway Snyder, Dr Douglas Clay and Dr Marcia Neugebauer z Jet Propulsion Laboratory.

7.23.3 Przebieg eksperymentu

Siedem jednakowo zmodyfikowanych kubków - klatek Faradaja, będących pułapkami dla zjonizowanych cząstek, użyto w celu detekcji i zebrania elektronów i protonów wchodzących w skład wiatru słonecznego. Jeden kubek ustawiono w pozycji pionowej. Pozostałe sześć kubków otaczało go i było ustawione w taki sposób, że normalna dwóch przyległych kubków była skierowana pod kątem 60 stopni. Każdy kubek dokonywał pomiaru prądu indukowanego ze strumienia pola cząstek do niego wpadających. Jako, że pojemniki były identyczne, a strumień pola równy w każdym kierunku, zakładano, że zanotowane wartości każdego z kubeczków powinny być takie same. Nierównomierne rozłożenie interpretowano jako wariacja w kierunku napływu strumienia pola cząstek [[AAB+72]].

Kolejno zmieniając napięcia w sieci detektorów i mierząc ich wpływ na przepływ prądu, uzyskano pełny obraz spektrum energii zarówno elektronów jak i protonów wiatru słonecznego.

Dane zebrane przez detektory przetwarzano w odpowiednim podsystemie zestawu ALSEP. Cykle pomiarowe zostały zorganizowane w 16 sekwencjach 186 dziesięciobitowych słów.

7.23.4 Rezultaty

Wiatr słoneczny jest główną zewnętrzną siłą oddziałującą na powierzchnię na Księżyca. Pomiary spektrometryczne pozwoliły na interpretację pola magnetycznego Księżyca, jego atmosfery i analizę próbek gruntu.

Eksperyment SWS zrealizowany podczas misji Apollo 12 przekroczył oczekiwania naukowców i wysyłał dane nie tylko o protonach ale również o fotoelektronach jeszcze przez kilka minut po zachodzie słońca [[AAB+72]].

Eksperyment SWS pokazał, że wiatr słoneczny zachowuje się tak samo wolnej przestrzeni kosmicznej jak poza polem magnetycznym Ziemi, jak podczas przechodzenia przez jej ogon magnetyczny. Nieznacznie wtedy ulega zakłóceniom. Podczas *Apollo 15* z nieoczekiwanym efektem ukazało się obserwacja chmury gazu unoszącego się po uderzeniu członu rakiety Saturn-IV z *Apollo 13*.

Poznanie składu wiatru słonecznego pozwoliło na lepsze zrozumienie pochodzenia z słońca i określenie procesów w nim zachodzących. Przyczyniło się do poznania procesu tworzenia i przyspieszania cząsteczek, jak również ich propagacji przez przestrzeń międzyplanetarną.

Oszacowano, że Słońce każdej sekundy deponuje wartość równą 1 kilotony energii w polu magnetycznym Ziemi. Efektem tego są zorze polarne, procesy zachodzące w jonosferze oraz zmiany pogodowe [[Jon95]].

7.24 Traverse Gravimeter Experiment (TGE)

Ośrodek badawczy	Columbia University
Misje	Apollo 17
Nazwa eksperymentu (j. ang.)	Traverse Gravimeter Experiment
Nazwa eksperymentu (j. pol.)	Trawersowy pomiar sejsmiczny
Dziedzina	Grawimetria

Tab.	7.26.:	Traverse	Gravimeter	Experiment	(TGE)
------	--------	----------	------------	------------	-------

7.24.1 Przedmiot badania

Eksperyment *Traverse Gravimeter Experiment (TGE)* został wykonany w trakcie misji *Apollo 17* w celu pomiaru wariacji przyspieszenia grawitacyjnego w skutek podpowierzchniowej struktury regionu Taurus-Littrow.

7.24.2 Materiały i metody



Ryc. 7.41.: Zdjęcie przedstawia eksperyment niebieski Traverse Gravimeter Experiment (TGE) zamontowany na tylnym siedzeniu łazika *LRV*. Astronauta Gene Cernan wykonał to zdjęcie w celu dokumentacji wymiany "błotnika". Źródło: NASA/AS17-137-20979 [[Tea99]]



Ryc. 7.42.: Zdjęcie przedstawia eksperyment niebieski Traverse Gravimeter Experiment (TGE). Źródło: [[Tea99]].

7.24.3 Przebieg eksperymentu

Pomiary grawimetryczne były wykonane w 12 miejscach pomiarowych podczas trzeciego *EVA*. W każdej stacji geologicznej, Gene Cernan zdejmował *TGE* z tyłu łazika i rozstawiał na podłożu w pozycji horyzontalnej dokonywał pomiaru. Po ukończeniu rejestracji odczytywał wynik na wskaźniku. Wyniki były przekazane drogą radiową przez załogę na Ziemię do centrum kontroli misji.

Interpretacja wyników wymagała znajomości topografii miejsca lądowania. Dane te zostały uzyskane za pomocą zdjęć stereofotograficznych z orbity Księżyca.

7.24.4 Rezultaty

Analiza wyników wykazała, że warstwa morza bazaltowego znajdującego się w pobliżu miejsca lądowania ma miąższość 1 km. Wartość ta jest mniejsza niż określona w *Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)*, [[Jon95]].

7.25 Najważniejsze odkrycia

Lista najważniejszych odkryć geologicznych i geofizycznych programu Apollo wg. [[Lin08]]:

- 1. Księżyc nie jest obiektem pierwotnym (ang. *primordial*), który wyewoluował jako planeta z wewnętrznym podziałem na warstwy podobnym do Ziemi.
- 2. Księżyc jest starożytnym obiektem, który przechowuje informacje o wczesnej historii układu słonecznej (pierwszy miliard lat). Informacje te są wspólne dla wszystkich planet.
- Najmłodsze skały Księżycowe są w podobnym wieku co najstarsze minerały znalezione na Ziemi. Najwcześniejsze procesy i wydarzenia, które ukształtowały oba ciała mogą obecnie być odkryte wyłącznie na Księżycu.
- 4. Pochodzenie Księżyca i Ziemi jest podobne; oba ciała uformowane są na bazie różnych proporcji z tego samego źródła minerałów.
- 5. Księżyc nie posiada śladów życia, żadnych żyjących organizmów, skamielin, czy związków organicznych.
- 6. Wszystkie skały księżycowe pochodzą z procesów wysokotemperaturowych bez uczestnictwa wody lub z jej nieznacznym udziałem. Skały księżycowe dzielą się na trzy typy: bazalty, anortozyty, brekcje.
- 7. Na wczesnym etapie historii Księżyca jego powierzchnię stanowił "ocean magmy" rozciągający się do znacznych głębokości. Księżycowe wyżyny zawierają pozostałości pierwotnych skał o niskiej gęstości, które wypłynęły na powierzchnię oceanu magmy.
- 8. Zjawisko oceanu magmy poprzedzało czas wielkich zderzeń z asteroidami, które utworzyły baseny wypełnione strumieniami lawy.
- 9. Księżyc jest nieznacznie masowo asymetryczny. Prawdopodobnie jest to spowodowane wpływem pola grawitacyjnego Ziemi w trakcie ewolucji Księżyca. Jego skorupa jest grubsza po niewidocznej z Ziemi stronie, lecz większość basenów wulkanicznych i punktów znacznej koncentracji masy znajduje się po bliższej stronie.
- Powierzchnia Księżyca pokryta jest stosem fragmentów skalnych i pyłu zwanego regolitem księżycowym. Regolit przechowuje unikalną historię aktywności słonecznej. Stanowi to ważny element w zrozumieniu procesów zmiany klimatu na Ziemi.
CHAPTER EIGHT

NARZĘDZIA UŻYWANE DO PRAC NA POWIERZCHNI KSIĘŻYCA

8.1 Apollo Lunar Surface Close-up Camera (ALSCC)



Ryc. 8.1.: Apollo Lunar Surface Close-up Camera (ALSCC). Źródło: [[Knu13]]

8.2 Apollo Lunar Surface Drill



Ryc. 8.2.: Apollo Lunar Surface Drill. Źródło: [[Knu13]]



Ryc. 8.3.: Narzędzia *Apollo Lunar Surface Drill* użyto w celu wykonywania otworów wiertniczych na powierzchni Księżyca. Do otworów wprowadzano sondy dla eksperymentów *Heat Flow Experiment (HFE)*, *Neutron Probe Experiment (NPE)*. Z wydrążonych otworów pobierano również próbki geologiczne. Źródło: [[Knu13]]

8.3 S-Band Antenna



Ryc. 8.4.: Model anteny pasma S-Band. Źródło: [[Sol13]].

8.4 Stacja Centralna



Ryc. 8.5.: Stacja Centralna. Źródło: [[Knu13]].



Ryc. 8.6.: Stacja Centralna. Źródło: [[Knu13]].



Ryc. 8.7.: Stacja Centralna. Źródło: [[Knu13]].

8.5 RTG Cask Dome Removal Tool (DRT)



Ryc. 8.8.: RTG Cask Dome Removal Tool (DRT). Źródło: [[Knu13]]



Ryc. 8.9.: RTG Cask Dome Removal Tool (DRT). Źródło: [[Jon95]]

8.6 RTG Fuel Transfer Tool (FTT)



Ryc. 8.10.: RTG Fuel Transfer Tool (FTT). Źródło: [[Knu13]]



Ryc. 8.11.: RTG Fuel Transfer Tool (FTT). Źródło: [[Knu13]]

8.7 Lunar Roving Vehicle (LRV)



Ryc. 8.12.: Lunar Roving Vehicle (LRV). Źródło: [[Jon95]].



Ryc. 8.13.: Lunar Roving Vehicle (LRV). Źródło: [[Jon95]].



8.8 Radioisotope Thermo-electric Generator (RTG)

Ryc. 8.14.: Radioisotope Thermo-electric Generator (RTG). Źródło: [[Knu13]].



Ryc. 8.15.: Radioisotope Thermo-electric Generator (RTG). Źródło: [[Knu13]].

8.9 Universal Handling Tool



Ryc. 8.16.: Universal Handling Tool. Źródło: [[Knu13]]



Ryc. 8.17.: Universal Handling Tool. Źródło: [[Knu13]]

CHAPTER NINE

MISJE APOLLO

9.1 Apollo 11

9.1.1 Charakterystyka misji

Celem misji Apollo 11 było pierwsze załogowe lądowanie na powierzchni Księżyca. Podczas misji postawiono pierwsze kroki na powierzchni, zatknięto flagę USA oraz pozostawiono tabliczkę:

Here Men From Planet Earth First Set Foot Upon the Moon. July 1969 A.D. We Came In Peace For All Mankind.

Tłumaczenie autora:

W tym oto miejscu ludzie z planety Ziemia postawili po raz pierwszy stopę na Księżycu. Lipiec roku 1969 A.D. Przybyliśmy w pokoju w imieniu całej ludzkości.

Astronauta Neil Armstrong zaraz po zejściu na powierzchnię pobrał tzw. "próbkę bezpieczeństwa" (ang. *Contingency Sample*). Był to mały odłamek skalny, pobrany na wypadek konieczności szybkiego powrotu na Ziemię. Podczas misji Apollo 11 celem nie były eksperymenty naukowe, chociaż pobrano próbki gruntu i przeprowadzono eksperymenty geofizyczne [[VBC+69]].

9.1.2 Podstawowe informacje dotyczące misji

Obszar eksploracji	Morze spokoju (Mare Tranquillitatis)
Lokacja lądowania	0.67409°N 23.47298°E
Masa zebranych próbek	21.55 kg
Liczba EVA	1
Czas EVA łącznie	2h 31m 40s
Czas EVA 1	2h 31m 40s
Data startu z Ziemi	1969-07-16 13:32:00 UTC
Data lądowania na Księżycu	1969-07-20 20:17:40 UTC
Data startu z Księżyca	1969-07-21 17:54:00 UTC
Data lądowania na Ziemi	1969-07-24 16:50:35 UTC

Tab. 9.1.: Wybrane informacje dotyczące parametrów misji Apollo 11 [Gar19], [JDB75], [Orl00].

9.1.3 Załoga

[02270],[2000].					
Załoga	Rola	Imię i Nazwisko			
Główna	Dowódca załogi	Neil A. Armstrong			
Główna	Pilot Modułu Księżycowego	Edwin E. 'Buzz' Aldrin, Jr.			
Główna	Pilot Modułu Zarządzania	Michael Collins			
Zapasowa	Dowódca załogi	James A. Lovell Jr.			
Zapasowa	Pilot Modułu Księżycowego	William A. Anders			
Zapasowa	Pilot Modułu Zarządzania	Fred W. Haise Jr.			

Tab. 9.2.: Lista członków załogi głównej i zapasowej dla misji Apollo 11 [JDB75], [Lin08].



Ryc. 9.1.: Załoga misji Apollo 11. Od lewej astronauci: Armstrong, Collins, Aldrin. Źródło: [[Lin08]].

9.1.4 Miejsce lądowania



Ryc. 9.2.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 11. Źródło: NASA/USGS/LPI/ASU

9.1.5 Eksploracja powierzchni Księżyca

	księżyca podczas misji rupono 11 [E117].					
Data	rozpoczęcia	Czas	rozpoczęcia	Dłu-	Astronauci	Czynności
[UTC]		[UTC]		gość		
1969-07	7-21	02:39:3	3	2h 32m	Edwin Aldrin, Neil Arm-	Eksperymenty
					strong	naukowe
1969-07	7-21			0h 5m	Edwin Aldrin, Neil Arm-	Zrzut ekwipunku
					strong	

Tab. 9.3.: Harmonogram spacerów kosmicznych na powierzchni księżyca podczas misji Apollo 11 [LI19].

9.1.6 Lista eksperymentów

W trakcie misji Apollo 11 wykonano następujące eksperymenty [[Lin08]] [[Mey09]], [[LI19]], [[VBC+69]]:

- 1. Lunar Dust Detector (LDD)
- 2. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)
- 3. Passive Seismic Experiment Package (PSEP)
- 4. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)



Ryc. 9.3.: Astronauta Buzz Aldrin w trakcie rozstawiania eksperymentów w ramach pakietu EASEP. Źródło: [[Tea99]].

9.1.7 Przygotowanie do misji

Tab.	9.4.:	Obszary	geograficzne	na	Ziemi	wykorzystane	podczas
przes	szkolen	ia geologi	cznego astrona	utó	w do mi	isji Apollo 11.	

Region geologiczny	Lokacja
Sierra Blanca	TX, USA
Building 9, Manned Space Center	TX, USA



9.1.8 Zdjęcia eksperymentów na powierzchni

Ryc. 9.4.: Laser Ranging Retro-reflector (LRRR). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.5.: Passive Seismic Experiment Package (PSEP). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.6.: Astronauta Buzz Aldrin w trakcie rozstawiania eksperymentu *Solar Wind Composition Experiment* (*SWCE*). Źródło: [[Tea99]].

9.2 Apollo 12

9.2.1 Charakterystyka misji

Celem misji Apollo 12 była wizyta miejsca lądowania sondy *Surveyor 3*, która wylądowała na powierzchni w kwietniu 1967 roku. Lądowanie podczas tej misji było jednym z najbardziej precyzyjnych [[CHL+70]].

Apollo 12 było pierwszą misją podczas, której wykonano eksperymenty z pakietu ALSEP.

9.2.2 Podstawowe informacje dotyczące misji

arry], [JDD75], [Orroo].	
Obszar eksploracji	Ocean Burz (Ocean of Storms)
Lokacja lądowania	3.01381°S 23.41930°W
Masa zebranych próbek	34.35 kg
Liczba EVA	2
Czas EVA łącznie	7h 45m, 18s
Czas EVA 1	3h 56m 3s
Czas EVA 2	3h 49m 15s
Data startu z Ziemi	1969-11-14 16:22:00 UTC
Data lądowania na Księżycu	1969-11-19 06:54:35 UTC
Data startu z Księżyca	1969-11-20 14:25:47 UTC
Data lądowania na Ziemi	1969-11-24 20:58:24 UTC

Tab. 9.5.: Wybrane informacje dotyczące parametrów misji Apollo 12 [Gar19], [JDB75], [Orl00].

9.2.3 Załoga

Załoga	Rola	Imię i Nazwisko
Główna	Dowódca załogi	Charles 'Pete' Conrad Jr.
Główna	Pilot Modułu Księżycowego	Alan L. Bean
Główna	Pilot Modułu Zarządzania	Richard F. Gordon Jr.
Zapasowa	Dowódca załogi	David R. Scott
Zapasowa	Pilot Modułu Księżycowego	Alfred M. Worden
Zapasowa	Pilot Modułu Zarządzania	James B. Irwin

Tab. 9.6.: Lista członków załogi głównej i zapasowej dla misji Apollo 12 [JDB75].



Ryc. 9.7.: Załoga misji Apollo 12. Od lewej astronauci: Conrad, Gordon, Bean

9.2.4 Miejsce lądowania



Ryc. 9.8.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 12. Źródło: NASA/USGS/LPI/ASU, [[Lin08]], [[NAS69]].

9.2.5 Eksploracja powierzchni Księżyca

	księżyca podczas misji Apono 12 [L119].					
Data	rozpoczęcia	Czas	rozpoczęcia	Dłu-	Astronauci	Czynności
[UTC]		[UTC]		gość		
1969-11	-19	11:32:35	5	3h 56m	Alan Bean, Charles	Eksperymenty
					Conrad	naukowe
1969-11	-20	03:54:45	5	3h 49m	Alan Bean, Charles	Eksperymenty
					Conrad	naukowe
1969-11	-20			0h 5m	Charles Conrad, Alan	Zrzut ekwipunku
					Bean	

Tab. 9.7.: Harmonogram spacerów kosmicznych na powierzchni księżyca podczas misji Apollo 12 [LI19].

9.2.6 Lista eksperymentów

W trakcie misji Apollo 12 wykonano następujące eksperymenty [[Lin08]] [[Mey09]], [[L119]], [[NAS69]], [[CHL+70]]:

- 1. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)
- 2. Lunar Dust Detector (LDD)
- 3. Lunar Surface Magnetometer (LSM)
- 4. Passive Seismic Experiment (PSE)
- 5. Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)
- 6. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)
- 7. Solar Wind Spectrometer (SWS)



Ryc. 9.9.: Mapa schematyczna rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 12. Źródło: [[Tea99]].



9.2.7 Zdjęcia eksperymentów na powierzchni

Ryc. 9.10.: Lunar Surface Magnetometer (LSM). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.11.: Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.12.: Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE) / Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.13.: Solar Wind Spectrometer (SWS). Źródło: [[Tea99]].

9.3 Apollo 14

9.3.1 Charakterystyka misji

Celem misji Apollo 14 było wykonanie pomiarów geofizycznych i pobranie próbek regolitu księżycowego. Była to pierwsza misja w której wykorzystano projekt "wózka" do przewożenia odłamków skalnych [[CDF+71]].

9.3.2 Podstawowe informacje dotyczące misji

Tab. 9.8.: Wybrane informacje dotyczące parametrów misji Apollo 14 [Gar19], [JDB75], [Orl00].

Obszar eksploracji	Fra Mauro
Lokacja lądowania	3.64544°S 17.47139°W
Masa zebranych próbek	42.80 kg
Liczba EVA	2
Czas EVA łącznie	9h 22m 31s
Czas EVA 1	4h 47m 50s
Czas EVA 2	4h 34m 41s
Data startu z Ziemi	1971-01-31 21:03:02 UTC
Data lądowania na Księżycu	1972-02-05 09:18:11 UTC
Data startu z Księżyca	1972-02-06 18:48:42 UTC
Data lądowania na Ziemi	1972-02-09 21:05:00 UTC

9.3.3 Załoga

Tab. 9.9.: Lista członków załogi głównej i zapasowej dla misji Apollo 14 [JDB75].

Załoga	Rola	Imię i Nazwisko
Główna	Dowódca załogi	Alan B. Shepard Jr.
Główna	Pilot Modułu Księżycowego	Stuart A. Roosa
Główna	Pilot Modułu Zarządzania	Edgar D. Mitchell
Zapasowa	Dowódca załogi	Eugene A. Cernan
Zapasowa	Pilot Modułu Księżycowego	Ronald E. Evans Jr.
Zapasowa	Pilot Modułu Zarządzania	Joe H. Engle



Ryc. 9.14.: Załoga misji Apollo 14. Od lewej astronauci: Rosa, Shepard, Mitchel

9.3.4 Miejsce lądowania



Ryc. 9.15.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 14. Źródło: NASA/USGS/LPI/ASU, [[Lin08]].

9.3.5 Eksploracja powierzchni Księżyca

	July Line of Line Collins								
Data	rozpoczęcia	Czas	rozpoczęcia	Dłu-	Astron	auci		Czynności	
[UTC]		[UTC]		gość					
1971-02	2-05	14:42:1	3	4h 48m	Edgar	Mitchell,	Alan	Eksperymenty	
					Shepar	d		naukowe	
1971-02	2-06	08:11:1:	5	4h 35m	Edgar	Mitchell,	Alan	Eksperymenty	
					Shepar	d		naukowe	

Tab. 9.10.: Harmonogram spacerów kosmicznych na powierzchni księżyca podczas misji Apollo 14 [LI19].

9.3.6 Lista eksperymentów

W trakcie misji Apollo 14 wykonano następujące eksperymenty [[Lin08]] [[Mey09]], [[LI19]], [[CDF+71]]:

- 1. Active Seismic Experiment (ASE)
- 2. Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE)
- 3. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)
- 4. Lunar Dust Detector (LDD)
- 5. Lunar Portable Magnetometer (LPM)
- 6. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)
- 7. Passive Seismic Experiment (PSE)
- 8. Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)

9. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)



Ryc. 9.16.: Mapa schematyczna rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 14. Źródło: [[Tea99]].

9.3.7 Przygotowanie do misji

Tab. 9.11.: Obszary geograficzne na Ziemi wykorzystane podczas przeszkolenia geologicznego astronautów do misji Apollo 14.

Region geologiczny	Lokacja
Ries Impact Crater	Nördlingen, Bavaria, Niemcy



9.3.8 Zdjęcia eksperymentów na powierzchni

Ryc. 9.17.: Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.18.: Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.19.: Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE). Źródło: [[Tea99]].


Ryc. 9.20.: Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.21.: Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE) / Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.22.: Laser Ranging Retro-reflector (LRRR). Źródło: [[Tea99]].

9.4 Apollo 15

9.4.1 Charakterystyka misji

Pierwsza misja, która przy okazji badań powierzchniowych wykonała również pomiary na orbicie wykorzystując sensory umieszczone w module *CSM*. Zmodyfikowane skafandry *A7L* wykorzystywane podczas *EVA* pozwoliły na dłuższy pobyt powierzchniowy. Apollo 15 był również pierwszą misją, podczas której zastosowano elektryczny łazik księżycowy *LRV* (ang. *Lunar Roving Vehicle*) [[AAB+72]].

9.4.2 Podstawowe informacje dotyczące misji

Tab. 9.12.: Wybrane informacje dotyczące parametrów misji Apollo 15 [Gar19], [JDB75], [Orl00].

Obszar eksploracji	Hadley–Apennine
Lokacja lądowania	26.13224°N 3.63400°E
Masa zebranych próbek	77 kg
Liczba EVA	4
Czas EVA łącznie	19h 7m 53s
Czas EVA 1	33m 7s
Czas EVA 2	6h 32m 42s
Czas EVA 3	7h 12m 14s
Czas EVA 4	4h 49m 50s
Dystans przebyty łazikiem LRV	27.9 km
Data startu z Ziemi	1971-07-26 13:34:00 UTC
Data lądowania na Księżycu	1971-07-30 22:16:29 UTC
Data startu z Księżyca	1971-08-02 17:11:23 UTC
Data lądowania na Ziemi	1971-08-07 20:45:53 UTC

9.4.3 Załoga

Tab. 9.13.: Lista członków załogi głównej i zapasowej dla misji Apollo 15 [JDB75].

Załoga	Rola	Imię i Nazwisko
Główna	Dowódca załogi	David R. Scott
Główna	Pilot Modułu Księżycowego	Alfred M. Worden
Główna	Pilot Modułu Zarządzania	James B. Irwin
Zapasowa	Dowódca załogi	Richard F. Gordon Jr.
Zapasowa	Pilot Modułu Księżycowego	Vance D. Brand
Zapasowa	Pilot Modułu Zarządzania	Harrison H. Schmitt



Ryc. 9.23.: Załoga misji Apollo 15. Od lewej astronauci: Scott, Worden, Irwin

9.4.4 Miejsce lądowania



Ryc. 9.24.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 15. Źródło: NASA/USGS/LPI/ASU, [[Lin08]].

9.4.5 Eksploracja powierzchni Księżyca

	księżyca podczas inisji Apono 15 [E119].					
Data	rozpoczęcia	Czas	rozpoczęcia	Dłu-	Astronauci	Czynności
[UTC]		[UTC]		gość		
1971-07	-31			0h 33m	David Scott	Zdjęcie panoram-
						iczne
1971-07	-31	13:13:17		6h 33m	James Irwin, David	Eksperymenty
					Scott	naukowe
1971-08	-01	11:48:48		7h 12m	James Irwin, David	Eksperymenty
					Scott	naukowe
1971-08	-02	08:52:14		4h 50m	James Irwin, David	Eksperymenty
					Scott	naukowe
1971-08	-02			0h 12m	James Irwin, David	Zrzut ekwipunku
					Scott	

Tab. 9.14.: Harmonogram spacerów kosmicznych na powierzchni księżyca podczas misji Apollo 15 [LI19].

9.4.6 Lista eksperymentów

W trakcie misji Apollo 15 wykonano następujące eksperymenty [[Lin08]] [[Mey09]], [[LI19]], [[AAB+72]]:

- 1. Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)
- 2. Heat Flow Experiment (HFE)
- 3. Lunar Dust Detector (LDD)
- 4. Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)
- 5. Lunar Surface Magnetometer (LSM)
- 6. Passive Seismic Experiment (PSE)
- 7. Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)
- 8. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)



Ryc. 9.25.: Mapa schematyczna rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 15. Źródło: [[Tea99]].

9.4.7 Przygotowanie do misji

Data	Region geologiczny	Lokacja
	Devil's Lake	ND, USA
	Cinder Lake crater field	AZ, USA
	Red Dirt Falls	Waimea, HI, USA
1970-05	Orocopia Mountains	CA, USA
1970-06	Mojave Desert	CA, USA
1970-06	Flagstaff	AZ, USA
1970-07	Flagstaff	AZ, USA
1970-07	Medicine Hat	Alberta, Canada
1970-07	Medicine Hat	Alberta, Canada
1970-08	San Juan Mountains	CO, USA
1970-09	Buell Park	AZ, USA
1970-10	North Minnesota	NM, USA
1970-11	Flagstaff	AZ, USA
1970-11	San Gabriel Mountains	CA, USA
1970-12	Hawaii	HI, USA
1971-01	Kilbourne Hole	NM, USA
1971-02	Ubehebe Craters	CA, USA
1970-03	Taos	NM, USA
1970-04	Coso Hills	CA, USA
1970-05	Nevada Test Site	NV, USA
1970-06	Flagstaff	AZ, USA

Tab. 9.15.: Obszary geograficzne na Ziemi wykorzystane podczas przeszkolenia geologicznego astronautów do misji Apollo 15.



9.4.8 Zdjęcia eksperymentów na powierzchni

Ryc. 9.26.: Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.27.: Lunar Surface Magnetometer (LSM). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.28.: Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.29.: Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE) / Cold Cathode Ion Gauge (CCIG). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.30.: Solar Wind Spectrometer (SWS). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.31.: Laser Ranging Retro-reflector (LRRR). Źródło: [[Tea99]].

9.5 Apollo 16

9.5.1 Charakterystyka misji

Pierwsza misja, której celem było badanie trenów górzystych Księżyca. Po raz pierwszy użyto kamery spektrografu w paśmie *UV*. Ponownie zastosowano łazik *LRV*. Wypuszczono na orbicie Księżyca niewielki satelity badawcze [[BEC+72]].

9.5.2 Podstawowe informacje dotyczące misji

Tab. 9.16.: Wybrane informacje dotyczące parametrów misji Apollo 16 [Gar19], [JDB75], [Orl00].

Obszar eksploracji	Wyżyny Kartezjusza (Descartes Highlands)
Lokacja lądowania	8.97341°S 15.49859°E
Masa zebranych próbek	95.71 kg
Liczba EVA	3
Czas EVA łącznie	20h 14m 14s
Czas EVA 1	7h 11m 2s
Czas EVA 2	7h 23m 9s
Czas EVA 3	5h 40m 3s
Dystans przebyty łazikiem LRV	26.7 km
Data startu z Ziemi	1972-04-16 17:54:00 UTC
Data lądowania na Księżycu	1972-04-21 02:23:35 UTC
Data startu z Księżyca	1972-04-24 01:25:47 UTC
Data lądowania na Ziemi	1972-04-27 19:45:05 UTC

9.5.3 Załoga

Tab. 9.17.: Lista członków załogi głównej i zapasowej dla misji Apollo 16 [JDB75].

Załoga	Rola	Imię i Nazwisko
Główna	Dowódca załogi	John W. Young
Główna	Pilot Modułu Księżycowego	Charles M. Duke Jr.
Główna	Pilot Modułu Zarządzania	Thomas K. Mattingly II
Zapasowa	Dowódca załogi	Fred W. Haise Jr.
Zapasowa	Pilot Modułu Księżycowego	Stuart A. Roosa
Zapasowa	Pilot Modułu Zarządzania	Edgar D. Mitchell



Ryc. 9.32.: Załoga misji Apollo 16. Od lewej astronauci: Mattingly, Young, Duke

9.5.4 Miejsce lądowania



Ryc. 9.33.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 16. Źródło: NASA/USGS/LPI/ASU, [[Lin08]]

9.5.5 Eksploracja powierzchni Księżyca

księżyca podczas inisji Apono to [E117].				
Data rozpoczęcia	Czas rozpoczęcia	Dłu-	Astronauci	Czynności
[UTC]	[UTC]	gość		
1972-04-21	16:47:28	7h 11m	Charles Duke, John	Eksperymenty
			Young	naukowe
1972-04-22	16:33:35	7h 23m	Charles Duke, John	Eksperymenty
			Young	naukowe
1972-04-23	15:25:28	5h 40m	Charles Duke, John	Eksperymenty
			Young	naukowe
1972-04-23		0h 4m	Charles Duke, John	Zrzut ekwipunku
			Young	

Tab. 9.18.: Harmonogram spacerów kosmicznych na powierzchni księżyca podczas misji Apollo 16 [LI19].

9.5.6 Lista eksperymentów

W trakcie misji Apollo 16 wykonano następujące eksperymenty [[Lin08]] [[Mey09]], [[LI19]], [[BEC+72]]:

- 1. Active Seismic Experiment (ASE)
- 2. Cosmic Ray Detector (CRD)
- 3. Heat Flow Experiment (HFE)
- 4. Lunar Portable Magnetometer (LPM)
- 5. Lunar Surface Magnetometer (LSM)
- 6. Passive Seismic Experiment (PSE)
- 7. Solar Wind Composition Experiment (SWCE)



Ryc. 9.34.: Mapa schematyczna rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 16. Źródło: [[Tea99]].

9.5.7 Przygotowanie do misji

Data	Region geologiczny	Lokacja
1970-07	San Juan Mountains	CO, USA
1970-07	Medicine Hat	Alberta, Canada
1970-09	Colorado Plateau	AZ, USA
1970-10	North Minnesota	NM, USA
1970-11	Nevada Test Site	NV, USA
1970-11	San Gabriel Mountains	CA, USA
1971-01	Kilbourne Hole	NM, USA
1971-01	Kilbourne Hole	NM, USA
1971-02	Meteor Crater	AZ, USA
1971-03	Flagstaff	AZ, USA
1971-04	Camp Verde	AZ, USA
1971-05	Capulin Mountains	NM, USA
1971-06	Mono Lake	CA, USA
1971-07	Sudbury Basin	Ontario, Canada
1971-09	Rio Grande Gorge, Taos	NM, USA
1971-10	Nevada Test Site	NV, USA
1971-11	Coso Hills	CA, USA
1971-12	Hawaii	HI, USA
1972-02	Boulder City	NV, USA

Tab. 9.19.: Obszary geograficzne na Ziemi wykorzystane podczas przeszkolenia geologicznego astronautów do misji Apollo 16.



9.5.8 Zdjęcia eksperymentów na powierzchni

Ryc. 9.35.: Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.36.: Active Seismic Experiment (ASE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.37.: Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.38.: Lunar Surface Magnetometer (LSM). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.39.: Passive Seismic Experiment (PSE). Źródło: [[Tea99]].

9.6 Apollo 17

9.6.1 Charakterystyka misji

Misja o największym znaczeniu naukowym. Pierwsze lądowanie na powierzchnię Księżyca przez naukowca (Harrison Schmitt). Rozstawiono 6 dodatkowych eksperymentów geofizycznych [[PBB+73]].

9.6.2 Podstawowe informacje dotyczące misji

Tab. 9.20.: Wybrane informacje dotyczące parametrów misji Apollo 17 [Gar19], [JDB75], [Orl00].

Obszar eksploracji	Taurus–Littrow
Lokacja lądowania	20.18809°N 30.77475°E
Masa zebranych próbek	110.52 kg
Liczba EVA	3
Czas EVA łącznie	22h 3m 57s
Czas EVA 1	7h 11m 56s
Czas EVA 2	7h 36m 56s
Czas EVA 3	7h 15m 8s
Dystans przebyty łazikiem LRV	35.74 km
Data startu z Ziemi	1972-1207 05:33:00 UTC
Data lądowania na Księżycu	1972-12-11 19:54:57 UTC
Data startu z Księżyca	1972-12-14 22:54:37 UTC
Data lądowania na Ziemi	1972-12-19 19:24:59 UTC

9.6.3 Załoga

Tab. 9.21.: Lista członków załogi głównej i zapasowej dla misji Apollo 17 [JDB75].

Załoga	Rola	Imię i Nazwisko
Główna	Dowódca załogi	Eugene A. Cernan
Główna	Pilot Modułu Księżycowego	Harrison H. 'Jack' Schmitt
Główna	Pilot Modułu Zarządzania	Ronald E. Evans
Zapasowa	Dowódca załogi	David Scott
Zapasowa	Pilot Modułu Księżycowego	Alfred Worden
Zapasowa	Pilot Modułu Zarządzania	James Irwin



Ryc. 9.40.: Załoga misji Apollo 17. Od lewej astronauci: Schmitt, Cernan (dół), Evans (góra)

9.6.4 Miejsce lądowania



Ryc. 9.41.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 17. Źródło: NASA/USGS/LPI/ASU, [[Lin08]].



Ryc. 9.42.: Mapa lokacji lądowania i rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 17. Źródło: [[Tea99]].

9.6.5 Eksploracja powierzchni Księżyca

Roię	Kolęż jed podeżao imoji ripono 17 (Enry).			
Data rozpoczęcia	Czas rozpoczęcia	Dłu-	Astronauci	Czynności
[UTC]	[UTC]	gość		
1972-12-11	23:54:49	7h	Eugene Cernan, Harrison	Eksperymenty
		12m	Schmitt	naukowe
1972-12-12	23:28:06	7h	Eugene Cernan, Harrison	Eksperymenty
		37m	Schmitt	naukowe
1972-12-13	22:25:48	7h	Eugene Cernan, Harrison	Eksperymenty
		15m	Schmitt	naukowe

Tab. 9.22.: Harmonogram spacerów kosmicznych na powierzchni księżyca podczas misji Apollo 17 [LI19].

9.6.6 Lista eksperymentów

W trakcie misji Apollo 17 wykonano następujące eksperymenty [[Lin08]] [[Mey09]], [[LI19]], [[PBB+73]]:

- 1. Cosmic Ray Detector (CRD)
- 2. *Heat Flow Experiment (HFE)*
- 3. Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)
- 4. Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)
- 5. Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)
- 6. Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)
- 7. Neutron Probe Experiment (NPE)
- 8. Surface Electrical Properties Experiment (SEP)
- 9. Traverse Gravimeter Experiment (TGE)



Ryc. 9.43.: Mapa schematyczna rozstawienia eksperymentów naukowych podczas misji Apollo 17. Źródło: [[Tea99]].

9.6.7 Przygotowanie do misji

Data	Region geologiczny	Lokacja
1971-10	Big Bend Region	TX, USA
1971-11	Flagstaff	AZ, USA
1971-11	Coso Hills	CA, USA
1971-12	Kilbourne Hole	NM, USA
1972-01	Boulder City	NV, USA
1972-02	Chocolate Mountains	CA, USA
1972-02	Flagstaff	AZ, USA
1972-03	Sierra Madera	TX, USA
1972-04	San Gabriel Mountains	CA, USA
1972-05	Sudbury Basin	Ontario, Canada
1972-06	Hawaii	HI, USA
1972-07	Stillwater Complex	MT, USA
1972-08	Nevada Test Site	NV, USA
1972-09	Tonopah	NV, USA
1972-10	Blackhawk Slide	CA, USA
1972-11	Flagstaff	AZ, USA

Tab. 9.23.: Obszary geograficzne na Ziemi wykorzystane podczas przeszkolenia geologicznego astronautów do misji Apollo 17.



9.6.8 Zdjęcia eksperymentów na powierzchni

Ryc. 9.44.: Heat Flow Experiment (HFE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.45.: Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.46.: Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.47.: Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.48.: Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [[Tea99]].


Ryc. 9.49.: Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [[Tea99]].



Ryc. 9.50.: Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE). Źródło: [[Tea99]].

CHAPTER

TEN

BIBLIOGRAFIA

10.1 Literatura

References

10.2 Lista figur

References

10.3 Lista video

CHAPTER ELEVEN

SŁOWNICZEK

ALSEP

Apollo Lunar Surface Exploration Package Zestaw narzędzi i badań naukowych przeprowadzanych podczas misji *Apollo* na powierzchni Księżyca. Więcej informacji: *Eksperymenty geofizyczne na powierzchni Księżyca*.

EASEP Early Apollo Surface Experiments Package

СМ

Command Module Jedyna część Saturn V/CSM/LM, która powracała na Ziemię.

CSM

Command and Service Module Część statku Apollo, która po odłączeniu lądownika pozostała na orbicie.

LM

LEM

Lunar Module

Lunar Excursion Module Załogowy lądownik księżycowy użyty podczas programu Apollo

A7L Skafander kosmiczny używany podczas wyjść na powierzchnię Księżyca.

EVA

ExtraVehicular Activity Wyjście poza statek kosmiczny lub lądownik. W przypadku programu Apollo, głównie wyjście na powierzchnię Księżyca. Znane również jako spacer kosmiczny (ang. *Spacewalk*).

Spacewalk

Spacer Kosmiczny Patrz ExtraVehicular Activity.

LRV

Lunar Roving Vehicle Łazik księżycowy. Więcej informacji: Lunar Roving Vehicle (LRV)

UV

Ultraviolet Promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali w zakresie 10 nm do 400 nm. Niewidoczne gołym okiem.

brekcja Formacja geologiczna

geofon Urządzenie rejestrujące fale sejsmiczne.

ASE Active Seismic Experiment (ASE)

CCIG Cold Cathode Ion Gauge (CCIG)

CPLEE Charged Particle Lunar Environmental Experiment (CPLEE)

CRD Cosmic Ray Detector (CRD)

HFE Heat Flow Experiment (HFE)

LACE Lunar Atmospheric Composition Experiment (LACE)

LAD Lunar Atmospheric Detector (LAD)

LDD *Lunar Dust Detector* (*LDD*)

LEAM Lunar Ejecta and Meteorite Experiment (LEAM)

LID Lunar Ionosphere Detector (LID)

LPM Lunar Portable Magnetometer (LPM)

LRRR Laser Ranging Retro-reflector (LRRR)

LSG Lunar Surface Gravimeter Experiment (LSG)

LSM Lunar Surface Magnetometer (LSM)

LSPE Lunar Seismic Profiling Experiment (LSPE)

NPE Neutron Probe Experiment (NPE)

PSE Passive Seismic Experiment (PSE)

PSEP Passive Seismic Experiment Package (PSEP)

SEP Surface Electrical Properties Experiment (SEP)

SIDE Suprathermal Ion Detector Experiment (SIDE)

SWCE Solar Wind Composition Experiment (SWCE)

SWS Solar Wind Spectrometer (SWS)

TGE *Traverse Gravimeter Experiment (TGE)*

SEQ Scientific Equipment Bay (SEQ)

ALSEP Array Konfiguracja zestawu ALSEP

SPE Solar Particle Event

UHECR Ultra-High-Energy Cosmic Rays

GCR Galactic Cosmic Rays

Saturn

Saturn V Rakieta nośna użyta do wystrzelenia statku CSM Apollo oraz lądownika LM

Pas Van Allena obszar intensywnego promieniowania korpuskularnego, otaczającego Ziemię. Składa się z naładowanych cząstek o wielkiej energii, schwytanych w pułapkę przez ziemskie pole magnetyczne, w którym poruszają się one po trajektoriach zbliżonych do helis, których osie są równoległe do linii pola magnetycznego, łączących obydwa ziemskie bieguny magnetyczne.

MET

handcart

- Modular Equipment Transporter Dwuwłókowy wózek wykorzystywany podczas misji *Apollo 14* w celu transportowania narzędzi, kontenerów, zapasowych filmów i odłamków skalnych.
- RTG Radioisotope Thermo-electric Generator (RTG)
- **UHT** Universal Handling Tool
- Apollo Załogowy program kosmiczny, którego celem był lot człowieka na Księżyc.
- **Bistatic Radar and Lunar Sounder Experiments** Eksperyment pomiary właściwości elektrycznych powierzchni Księżyca przeprowadzony z orbity.
- CDR Commander

LMP Lunar Module Pilot

CMP Command Module Pilot

JPL

Jet Propulsion Laboratory Instytut badawczy NASA

Apollo 13 Misja Apollo, która ze względu na problemy techniczne nie dotarła do powierzchni Księżyca. Po kilku dniach udało się sprowadzić astronautów na Ziemię wykorzystując manewr Free Return Trajectory.

MPA

Mortar Package Assembly Moździerzowy Zespół Opakowaniowy

Lunar Earthrise ikoniczne zdjęcie wschodu Ziemi

Surveyor 3 Sonda badająca powierzchnię Księżyca. Data lądowania 20 kwietnia 1967. Była celem misji Apollo 12

BIBLIOGRAPHY

- [AAB+72] Joseph P. Allen, Keith F. Anderson, Richard R. Baldwin, Roy L. Cox, Helen N. Foley, Robert L. Giesecke, Richard H. Koos, Robert Mercer, William C. Phinney, Floyd I. Roberson, and Scott H. Simpkinson. Apollo 15 preliminary science report. 1972.
- [BEC+72] Robin Brett, Anthony W. England, Jack E. Calkins, Robert L. Giesecke, David N. Hohnan, Robert M. Mercer, Michael J. Murphy, and Simpkinson Scott H. Apollo 16 preliminary science report. 1972.
- [Cad06] Deborah Cadbury. Space Race: The Epic Battle Between America and the Soviet Union for Dominance of Space. Harper Collins Publishers, 2006. ISBN 9780060845537.
- [CHL+70] Anthony J. Calio, John W. Harris, John H. Langford, R. Mercer, Jamie L. Moon, Scott H. Simpkinson, William K. Stephenson, Jeffrey L. Warner, and Julian M. West. Apollo 12 - preliminary science report. 1970.
- [Cer00] Eugene Cernan. *The Last Man on the Moon: Astronaut Eugene Cernan and America's Race in Space*. St. Martin's Press, New York City, NY, 2000. ISBN 9780312263515.
- [CDF+71] Philip K. Chapman, Michael B. Duke, Helen N. Foley, Jackson Harris, Frank J. Herbert, Bob Mercer, Scott H. Simpkinson, Paul J. Stull, and John M. Ward. Apollo 14 - preliminary science report. 1971.
- [Cro11] Arlin Crotts. Water on the moon, i. historical overview. Astronomical Review, 6:4–20, 2011. URL: https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/index.cfm (visited on 2019-05-28), doi:10.1080/21672857.2011.11519687.
- [Cun10] Walter Cunningham. The All-American Boys. iPicturebooks, New York City, NY, 2010. ISBN 9781876963248.
- [Dic06] Steven J. Dick. The voyages of apollo. 2006. URL: https://www.nasa.gov/exploration/whyweexplore/ Why_We_20.html (visited on 2019-05-28).
- [Eis17] Donn Eisele. *Apollo Pilot: The Memoir of Astronaut Donn Eisele*. University of Nebraska Press, Lincoln, NE, 2017. ISBN 9780803262836.
- [EM07] Ivan D. Ertel and Mary Louise Morse. The apollo spacecraft a chronology. 2007. URL: https://www. hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-4009/contents.htm (visited on 2018-03-08).
- [Gar19] Steve Garber. The history of apollo program. 2019. URL: https://history.nasa.gov/apollo.html (visited on 2019-06-13).
- [Har97] J.J. Harford. Korolev how one man masterminded the soviet drive to beat america to the moon. 1997. URL: http://history.nasa.gov/sputnik/harford.html.
- [Inc19] Bettina Inclán. Nasa administrator statement on return to moon in next five years. 2019. URL: https://www.nasa.gov/press-release/nasa-administrator-statement-on-return-to-moon-in-next-five-years (visited on 2019-05-28).
- [JDB75] Richard S. Johnston, Lawrence F. Dietlein, M.D., and Charles A. Berry, M.D. Biomedical Results of Apollo. NASA Scientific and Technical Information Office, Washington, DC, USA, 1975. URL: https://history.nasa.gov/SP-4029/Apollo_00a_Cover.htm.

- [Jon95] Eric M. Jones. Apollo lunar surface journal. 1995. URL: https://www.hq.nasa.gov/alsj/main.html (visited on 2019-06-17).
- [Kam99] Nikolai Petrovich Kamanin. Kamanin diaries (english translation of " "). 1999. URL: http://www. astronautix.com/k/kamanindiaries.html (visited on 2017-10-20).
- [Ken62] J.F. Kennedy. Moon speech rice stadium. 1962. URL: http://er.jsc.nasa.gov/seh/ricetalk.htm.
- [LS06] Alexei Leonov and David Scott. *Two Sides of the Moon: Our Story of the Cold War Space Race*. St. Martin's Griffin, New York City, NY, 2006. ISBN 9780312308667.
- [Lew10] Cathleen Lewis. Why yuri gagarin remains the first man in space, even though he did not land inside his spacecraft. 2010. URL: https://airandspace.si.edu/stories/editorial/ why-yuri-gagarin-remains-first-man-space-even-though-he-did-not-land-inside-his.
- [Lin08] Hamish Lindsay. Alsep apollo lunar surface experiments package. 2008. URL: https://www.hq.nasa. gov/alsj/HamishALSEP.html (visited on 2018-06-16).
- [LI19] Lunar and Planetary Institute. Usra houston repository. 2019. URL: https://repository.hou.usra.edu/ handle/20.500.11753/2 (visited on 2019-06-13).
- [Mey09] Charles Meyer. The lunar sample compendium. 2009. URL: https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/ index.cfm (visited on 2019-05-28).
- [NAS69] NASA. Apollo 12 press kit. 1969. URL: https://history.nasa.gov/apollo.html (visited on 2019-06-17).
- [Orl00] Richard W. Orloff. Apollo by the Numbers: A Statistical Reference. NASA History Division, Office of Policy and Plans, Washington, DC, USA, 2000. ISBN 016050631X. URL: https://history.nasa.gov/ SP-4029/Apollo_00a_Cover.htm.
- [PBB+73] Robert A. Parker, Richard R. Baldwin, Robin Brett, Jerry D. Fuller, Robert L. Giesecke, John B. Hanley, David N. Holman, Robert M. Mercer, Susan N. Montgomery, Michael J. Murphy, and Scott H. Simpkinson. Apollo 17 - preliminary science report. 1973.
- [She69] W. Shelton. Soviet space exploration the first decade. Arthur Barker Ltd., London, England, 1969.
- [Sid00] Asif A. Siddiqi. *Challenge to Apollo : the Soviet Union and the space race, 1945-1974.* NASA History Division, Washington, D.C., 2000. ISBN 9781780393018.
- [Sly07] *The Estimation of Helium-3 Probable Reserves in Lunar Regolith*, 2007. URL: http://www.lpi.usra. edu/meetings/lpsc2007/pdf/2175.pdf (visited on 2019-05-28).
- [VBC+69] J. M. Vest, P. R. Bell, A. J. Calia, J. W. Harris, H. H. Schmitt, S. H. Simpkinson, W. K. Stephenson, and D. G. Wiseman. Apollo 11 - preliminary science report. 1969.
- [Wad01] Mark Wade. Soviet manned lunar projects. 2001. URL: http://www.friends-partners.org/mwade/ articles/sovpart2.htm (visited on 2018-03-16).
- [Wor16] Johann-Dietrich Wörner. Moon village: a vision for global cooperation and space 4.0. 2016. URL: http://blogs.esa.int/janwoerner/2016/11/23/moon-village/ (visited on 2019-05-28).
- [Knu13] Sven Knudson. Apollo lunar surface experiments package. 2013. URL: http://www.ninfinger.org/ karld/My%20Space%20Museum/alsep01.htm (visited on 2019-06-17).
- [Sol13] Solcommand. Alsep apollo experiments. 2013. URL: https://www.solcommand.com/2013/02/ alsep-apollo-lunar-surface-experiments.html (visited on 2019-06-18).
- [Tea99] Kipp Teague. Project apollo archive. 1999. URL: https://www.flickr.com/photos/projectapolloarchive/ albums (visited on 2019-06-11).

INDEX

Α

A7L, 146 ALSEP, 146 ALSEP Array, 147 Apollo, 147 Apollo 13, 148 Apollo Lunar Surface Exploration Package, 146 ASE, 146

В

Bistatic Radar and Lunar Sounder Experiments, **147** brekcja, **146**

С

CCIG, 146 CDR, 147 CM, 146 CMP, 147 Command and Service Module, 146 Command Module, 146 CPLEE, 146 CRD, 146 CSM, 146

Е

EASEP, 146 EVA, 146 ExtraVehicular Activity, 146

G

GCR, **147** geofon, **146**

Η

handcart, **147** HFE, **146**

J

Jet Propulsion Laboratory, 148 JPL, 147

L

LACE, **146** LAD, **147** LDD, 147 LEAM, 147 LEM, 146 LID, 147 LM, 146 LMP, 147 LPM, 147 LRRR, 147 LRV, 146 LSG. 147 LSM, 147 LSPE, 147 Lunar Earthrise, 148 Lunar Excursion Module, 146 Lunar Module, 146 Lunar Roving Vehicle, 146

Μ

MET, 147 Modular Equipment Transporter, 147 Mortar Package Assembly, 148 MPA, 148

Ν

NPE, **147**

Ρ

Pas Van Allena, **147** PSE, **147** PSEP, **147**

R

RTG, **147**

S

Saturn, 147 Saturn V, 147 SEP, 147 SIDE, 147 SIDE, 147 Spacer Kosmiczny, 146 Spacewalk, 146 SPE, 147 Surveyor 3, 148 SWCE, 147 SWS, 147

Т

TGE, **147**

U

UHECR, **147** UHT, **147** Ultraviolet, **146** UV, **146**