

МАТЕМАТИЧКА ГИМНАЗИЈА

У БЕОГРАДУ

МАТУРСКИ РАД

из астрономије

РАНЕ МИСИЈЕ НА МАРС

**ментор: Слободан Спремо
4д**

ученица: Дорис Ковачевић

Београд, Мај, 2023.

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1 Мотивација.....	1
1.2 Остваривање идеје.....	2
2. ПУТ У СВЕМИР	3
2.1 Лансирање	3
2.2 Хохманова орбита Марса и Земље	3
3. РАНЕ СОВЈЕТСКЕ МИСИЈЕ	6
3.1 1960 - те	6
3.2 1970 - те	8
4. РАНЕ АМЕРИЧКЕ МИСИЈЕ	10
4.1 Програм Маринер	10
4.2 Програм Викинг.....	13
4.3 Нови приступ	15
5. ШТА ДАЉЕ?	17
ЛИТЕРАТУРА	18

1. УВОД

1.1 Мотивација

Истраживање Марса почиње већ 1600-их година са појавом првих телескопа. Саме мисије почињу раних 1960-их година, омогућене развићем технологије.

Прво питање које су људи поставили јесте опште познато - да ли је могућ живот ван планете Земље? Марсова близина Земљи као и сама сличност ове две планете је давала наду за потврдим одговором, што је и покренуло исцрпно изучавање Марса.

Оно што треба истаћи јесте и сама чињеница да је Марс планета која је најсличнија Земљи у Сунчевом систему. Ово нам говори да, ако знамо геолошку и климатску историју Марса, можемо да разумемо историју, а и формирамо основане пројекције за Земљину даљу еволуцију.

У неком тренутку током еволуције, Марс је прошао кроз драматичну трансформацију, а свет који је некада био прилично земаљски постао је прашњава, сува љуска. Сада се поставља питање шта се догодило, где су нестале течности и, можда, живи свет Марса? Да ли је овај сценарио могућ и за будућност наше планете?



Земља и Марс

<https://nypost.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/earth-mars.jpg?quality=90&strip=all>

Поред ових основних питања која су постављана вековима уназад, даљим напретком нам се отварају и нове могућности. Једна од њих јесте стварање услова за одржавање живота на Марсу. Због све веће потрошње ресурса на Земљи, ова могућност добија све више пажње.

1.2 Остваривање идеје

У почетку су на Марс упућиване летелице као што су орбитери, лендери и ровери, а тек каснијим развићем инжењерства и технологије постаје могуће размишљање о слању и људске посаде.

Због сложености и захтевности планирања било каквог међупланетарног лета, мисије су у почетку имале висок степен неуспеха: отприлике две трећине свих мисија је окончано пре извршавања задатка који им је дат. Временом се проценат успешности повећава, на пример, мисије 1960-их су слале 20ак слика, а 1970-их више хиљада слика. Поред тога, данас имамо чак и летелице које и даље активно прикупљају податке о Марсу.



Орбитер, лендер и ровер

<https://lbimg.in.com/LiveBlog/img/2019/07/4e948ea9d683b83ecf368fb71e162eba.jpg>

2. ПУТ У СВЕМИР

2.1 Лансирање

Основни принципи лансирања летелица у свемир заснивају се на минимизирању енергије потребне летелици да напусти Земљину орбиту и дође у орбиту посматраног небеског тела. Ради бољег разумевања направимо кратак осврт на најважније кораке приликом лансирања (иза овог објашњења постоје већи и тачнији прорачуни и формуле на којима се нећемо задржавати).

За почетак летелица мора достићи Земљину орбиту, без враћања назад. Да би се то постигло, мора се остварити довољно велика брзина, у супротном ће се закривљеном путањом вратити на тло. Зашто закривљено а не директно на доле? Иако се летелица лансира директно навише (због техничких могућности лансирне рампе), у једном тренутку свог лета, док је и даље на релативно ниској надморској висини, она прави одговарајући угао за постизање жељене орбиталне равни.

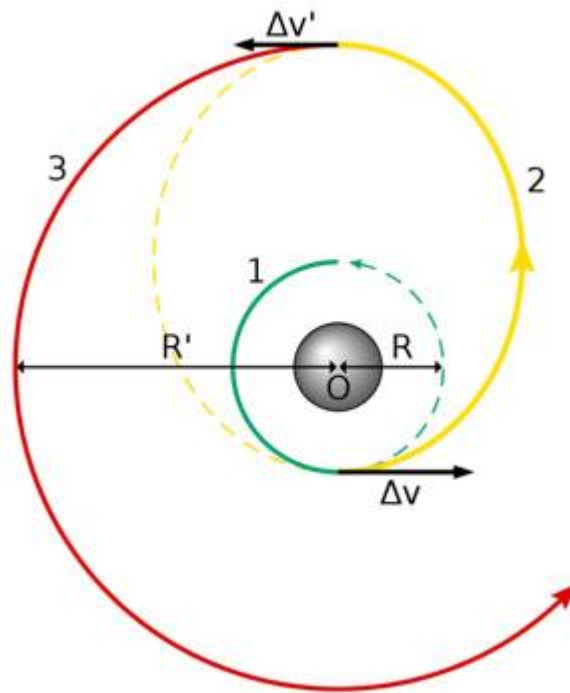
Основним Њутновим законима утврђено је да је праг потребне брзине око 28 000 km/h, зато што је тада путања враћања на Земљу отприлике паралелна закривљености саме Земљине површине, стога је летелица никада не може додирнути (за сада занемарујемо деловање отпора ваздуха и осталих спољашњих сила).

Након овога, потребно је још енергије (повећање брзине до око 40 000 km/h) како би се летелица одупрла Земљиној гравитацији и напустила њену орбиту. Када се ово деси, објекат наставља независно путању око Сунца у сопственој орбити.

2.2 Хохманова орбита Марса и Земље

1925. године, немачки инжењер Валтер Хохман показао је да је минимални утрошак енергије за лет између две кружне орбите које су у истој равни обезбеђен ако је трајекторија у облику 'половине' елипсе која спаја полазну и крајњу орбиту, и тангира обе.

На следећој слици је приказана Хохманова орбита (2) преласка тела са орбите (1) на орбиту (3).



Хохманова орбита

<https://www.astronomija.org.rs/images/stories/nauka/fizika/2018/gravitacija/g2.jpg>

Прелазна орбита би свој перихел имала на Земљи (месту узлетања) а афел на орбити Марса.

Посматрајмо сада орбиту Марса и Земље као савршене кругове уместо елипсе. При оваквој путањи, период обиласка летелице око Сунца био би 520 дана, односно, како при путовању она пређе половину пуне орбите, време потребно за прелазак је $520/2=260$ дана. При рачунању морамо узети у обзир и пут који Марс пређе за ово време, који је једнак

$$\frac{360^\circ}{687} \times 260 = 136^\circ{}^1$$

Оно што овиме закључујемо је да, да би летелица могла да достигне Марс на описан начин, угао између Земље - Сунца - Марса мора бити једнак $180^\circ - 136^\circ = 44^\circ$

Овакви услови се стичу на отприлике сваких 26 месеци. Наравно, како Марсова и Земљина орбита нису заправо кружне, потребна енергија ће варирати у периодима.

Претходно описан прелазак траје између 7 и 9 месеци.

¹ Период обиласка Марса око сунца је 687 дана

Осим ове, касније су откривене алтернативне трајекторије преласка са једне орбите на другу, које су временски економичније, али захтевају већи утрошак енергије и мањи терет.

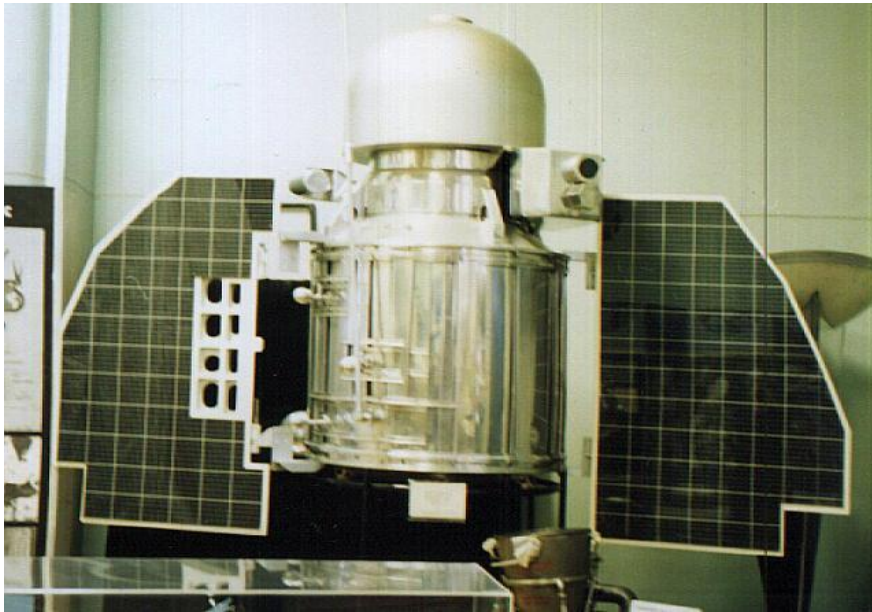
3. РАНЕ СОВЈЕТСКЕ МИСИЈЕ

3.1 1960 - те

Програм Марс 1М је био први Совјетски инпланетарни програм који се састојао од две мисије - *Марс 1960А* и *Марс 1960Б*, обе послате у октобру 1960. године. За ову мисију су коришћене сонде².

Циљ овог програма је био истраживање свемирског простора између Земље и Марса, фотографисање Марса током пролетања, прикупљање података о утицају дужег боравка опреме у ванземаљском окружењу као и постизање радио контакта са великих удаљености.

Обе ове мисије су биле неуспешне - достигле су надморску висину од 120км, што је недовољно за улажење у Земљину стабилну орбиту на 160км надморске висине.



Сонда Марса 1М

https://nssdc.gsfc.nasa.gov/thumbnail/spacecraft/venera1_vsm.gif

1962. године су уследиле још две Мисије које су на исти начин пропале

- *Марс 1962А* (Спутњик 22) - покушај пролетања сонде поред Марса

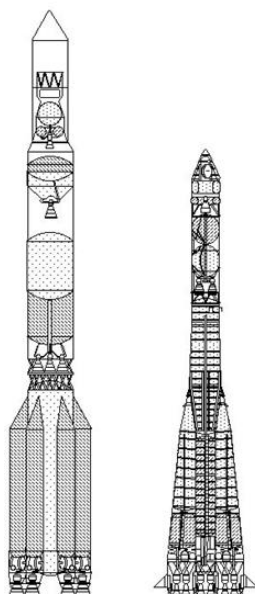
- *Марс 1962Б* (Спутњик 24) - покушај слетања лендера на Марс

² Сонде - свемирске летелице које пролећу око небеских тела, улазе у њихову орбиту и евентуално спуштају лендере на њихову површину.

Исте године је организована и мисија *Марс 1* - покушај пролетања око Марса, међутим, иако је ово била прва летелица која је успешно напустила Земљу, изгубљен је контакт пре самог достизања Марса.

1964. године сонда *Зонд 2*, са сличном опремом и циљем као и у мисији Марс 1, лансирана, али након првог проласка поред Марса, изгубљен је радио контакт са Земљом.

У до сада наведеним мисијама, коришћене су претежно Молнија ракете, али почев од 1969. представљене су теже Протон-К ракете, које су омогућавале лансирање већих, 5-тонских летелица, које су се састојале од орбитера и лендера.



Протон-К и Молнија ракете

<http://www.astronautix.com/nails/r/r7ur5cut.jpg>

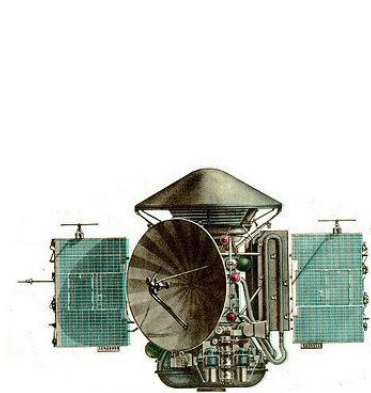
Године 1969. Совјетски Савез је припремио два идентична орбитера - *Марс 1969А* и *Марс 1969Б*, али оба су изгубљена због компликација при полетању.

Већина проблема се може приписати коришћењу недовољно развијене и тестиране опреме. Наиме, током прве деценије истраживања Марса, неуспеси су већински били последица кварова техничке природе. Инжењери су се фокусирали на прављење нове опреме, али не и на тестирање и усавршавање старе, због чега је почетком 1970-их година усвојено ново начело по ком се примарна важност придаје поправљању већ постојећих система уместо дизајнирања нових.

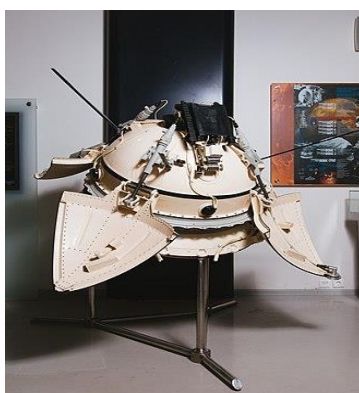
3.2 1970 - те

1971. године Совјетски Савез је лансирао орбитер *Космос 419*, два дана након што је Америка послала свој орбитер у свемир. Због овога се верује да је примарна сврха ове мисије била да Совјетски Савез претекне Америку и постане прва држава са лажним сателитом Марса. Само лансирање је било неуспешно и орбитер се вратио у Земљину атмосферу након свега два дана.

Уследиле су мисије *Марс 2* и *Марс 3*, које су, осим што су биле орбитери, носиле и лендере и ровере. Ови лендери су постали први објекти дизајнирани од стране човека који су дотакли површину Марса.



Марс 3 орбитер



Марс 3 лендер



Марс 3 ровер

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/Mars3_iki.jpg/450px-Mars3_iki.jpg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/FP2A3620_%2823497688248%29.jpg/330px-FP2A3620_%2823497688248%29.jpg

<https://spectrum.ieee.org/media-library/image.jpg?id=25570310&width=384&quality=80>

Марс 2 је уништен при самом слетању због компјутерских малфункција, док је Марс 3 имао успешно слетање, али директан сигнал са Земљом је изгубљен након 14.5 секунди. До губљења контакта је највероватније дошло због огромних пешчаних олуја које су погодиле Марс у том периоду. И поред овога, лендери су послали назад велику количину података који покривају период од децембра 1971. до марта 1972. иако лошијег квалитета због временских услова. У августу су ове две мисије завршене, а њихов крајњи производ састојао се од 60 слика и велике количине података које су између осталог откриле: планине високе до 22км, водоник и кисеоник у атомском облику у вишој атмосфери, површинске температуре између -110°C и 13°C , површински притисак око 100 пута мањи од Земљиног.

Овиме је такође омогућено прављење мапа површинског рељефа Марса, као и боље разумевање марсовске гравитације и магнетног поља.

Совјетски Савез 1973. године шаље још 4 летелице: *Марс 4*, *Марс 5* (орбитери) и *Марс 6*, *Марс 7* (лендери). Све четири летелице су имале велике проблеме проузроковане од стране лоших транзистора, који су овом приликом, ради уштеде новца, направљени од алуминијума уместо златних плочица, што је знатно повећало деградацију.

Марс 4 није успоставио орбиту око Марса већ је наставио своју путању након достизања прве тачке орбите; Марс 5 је издржао свега пар дана док није дошло до квара летелице; лендер Марса 6 је трајао кратко и сакупио незнатан број скоро неупотребивих података због већ поменутих транзистора; лендер Марса 7 је промашио планету при спуштању.

Иако су крајњи резултати били крајње разочаравајући, не можемо рећи да је година била потпуно узалудна с обзиром на то да су ипак прикупљени подаци, иако мале количине, који су омогућили даље истраживање црвене планете.

4. РАНЕ АМЕРИЧКЕ МИСИЈЕ

4.1 Програм Маринер

Програм Маринер је серија свемирских мисија које су организоване од стране америчке свемирске агенције НАСА у периоду од 1962. до 1973. године. Ове мисије су биле усмерене ка проучавању планета Сунчевог система, посебно Марса, Венере и Меркура. При сваком извршавању, у мисију су слате две исте летелице, ради веће вероватноће успеха. У наставку ћемо се осврнути на аспект програма који се односи на Марс. У складу са овиме, почињемо од летелица *Маринер 3* и *Маринер 4*, пошто су оне прве мисије које су као фокус имале истраживање Марса.

Маринер 3 и Маринер 4, лансирани 1964. године, су биле идентичне летелице са циљем да пролете поред Марса. Након што је Маринер 3 напустио атмосферу, проблем се јавио када је било потребно склањање сигурносне превлаке са сензора опреме. Поклопац је остао на летелици прекривајући камере и мерне инструменте, а додатна тежина опреме, коју је створила неодбачена превлака, је такође онемогућила летелици да настави свој предвиђени курс.

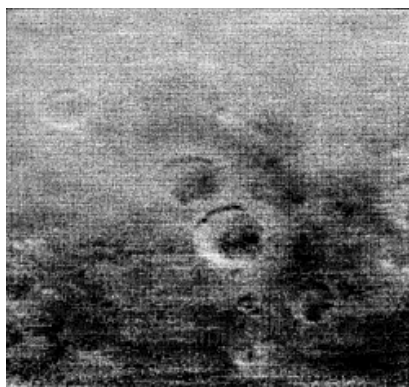
Три недеље касније, Маринер 4 је лансиран, али овог пута успешно. Мисли се да је кључну улогу у овом успеху играла једноставност пројектованих летелица. Биле су тешке свега 260кг, а од опреме су садржале између осталог ТВ камеру, магнетометар, детектор прашине и детектор радијације као и једноставан систем за контролу положаја и оријентације у простору.



Тестирање тежине Маринера 4

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/Mariner_4_Launch_Preparations.jpeg/330px-Mariner_4_Launch_Preparations.jpeg

Резултати ове мисије су за научнике били изненађујући у сваком погледу. Добијене су прве изблиза снимљене слике Марса које откривају површину пуну кратера, налик Месечевој (ово није типично за Марс, што нам показују савременија истраживања, већ је заступљено на мањој регији Марса која је усликана). У комбинацији са подацима који показују просечне дневне температуре од око -100°C и изузетно низак површински притисак (између 4mb и 6mb, у поређењу са 1013mb на Земљи), донет је закључак да су поларне санте леда сачињене примарно од угљен-диоксида - вода на овако ниском притиску не би могла да опстане у стабилном стању. Аналогно с овиме, извештај о резултатима налаже да је избраздана површина Марса стара око 2-5 милиона година, и мало је вероватно да је текућа вода могла да постоји на овој планети од тада. Још један интересантан закључак који је донесен је одсуство магнетног поља. Ово значи да површина планете долази у директан контакт са радијацијом коју изазива Сунчев ветар, што показује и да ће идеја слања људске посаде на Марс бити теже остварива него што је до тада очекивано.



Слика Марса усликана са Маринера 4

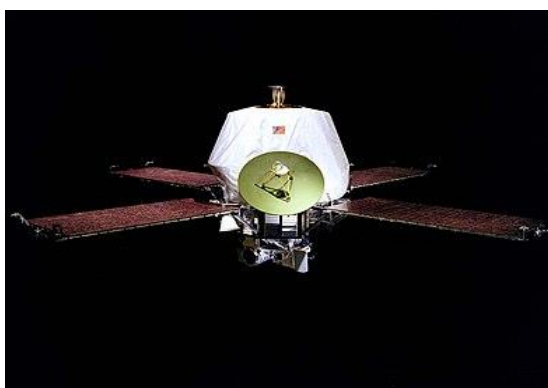
https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/banner/mariner4_8e.gif

Наставак је уследио 1969. године *Маринером 6* и *Маринером 7*. Циљ је био дубље разумевање површине и атмосфере Марса ради развијања будућих истраживања, конкретно оних у вези са потрагом за ванземаљским животом. Иако обе успешне, ове мисије су биле крајње обесхрабрујуће за тадашње научнике. Наиме, резултати су додатно потврдили закључке који су могли да се донесу након Маринера 4, а слике које су добијене (сада покривајући 10%, а не само 1% површине Марса), су показивали само још пространији кратерски терен Марса. Оно што још није било познато је да су слике, игром случаја, потпуно изоставиле фасцинантан део Марсове ареографије -

вулканске, планинске и кањонске облике рељефа, налик Земљином. Полако почиње да се гаси нада за проналаском сличности Марса и Земље, и развија се ново веровање - сличност Марса и Месеца.

1971. *Маринер 8* и *Маринер 9* су лансирани, Маринер 8 неуспешно. Фокус је био на мапирању површине Марса, односно сликању што већег пространства. Дошло је до изненадне паузе у прикупљању података од стране Маринера 9, због велике олује прашине, коју смо поменули при анализи Совјетског програма из 1971. Америка се са овом непогодом ипак могла боље изборити - коришћене камере су сада биле дигиталне, те је требало само одложити почетак рада, ради уштеде енергије и меморијског простора, до спуштања прашине и смиривања временских услова.

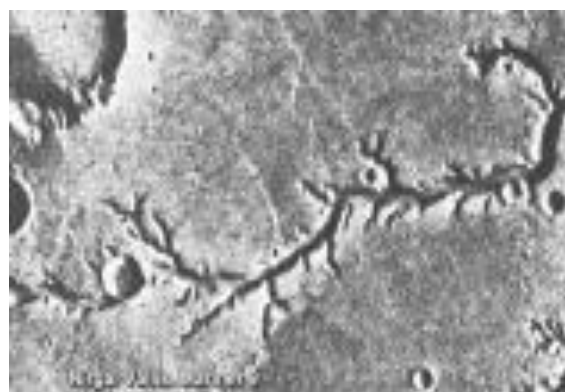
Нове слике откривају и нову страну Марса. Прва група показује каналска удубљења у самој површини коре која изгледају као да су настала пресушивањем или отицањем река, што би значило да је пре много година планета имала текућу воду; друга група - кањонске пределе који се протежу и до 1300 километара у дужину, заједно са вулкансим рељефом. Најзад, опажен је и рељеф који је по свему судећи настао неким обликом покрета који наликује на померање тектонских плоча на Земљи; ова сличност подстиче даље упоређивање Марса и Земље.



Летелица Маринер 9

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/thumbnail/spacecraft/mariner09.gif>

<https://photojournal.jpl.nasa.gov/thumb/PIA15090.jpg>



Слика канала на Марсу

4.2 Програм Викинг

Открића програма Маринер су пружила потребан подстрек ка даљем испитивању Марса и његовог настанка, чиме долазимо до наредног програма Сједињених Америчких Држава - програм **Викинг**.

1975. године два орбитера **Викинг 1** и **Викинг 2**, заједно са својим лендерима, су лансирана са Земље. Иако то није била основна сврха, потрага за животом на Марсу је свакако постала доминантна тема овог пројекта.

Сада са модернијим камерама и инструментима за мерење састава, притиска, температуре и водене паре у атмосфери, први задатак орбитера је био тражење одговарајуће површине за слетање и успостављање радио конекције са Земљом.

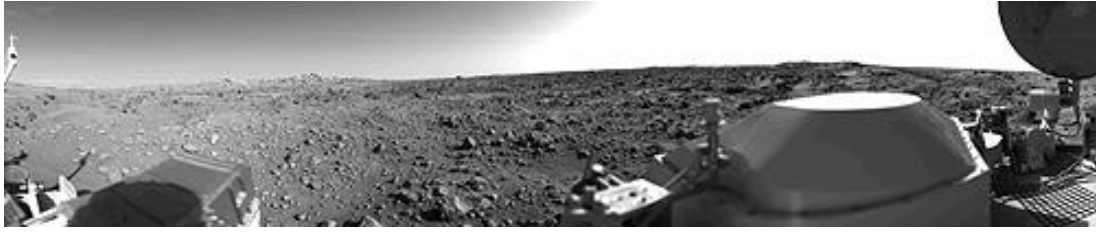
Сликама орбитера добијамо до сада најкомплетнији приказ Марса. Вулкани, кањони, кратерисане површине, рељеф формиран од стране ветра и лаве, као и докази постојања површинске воде су представљени. Сада можемо рећи да изгледа као да је планета подељена на две главне регије - северни, нижи предели и јужни виши, кратерисани. Дуж обе половине, простиру се Тарсис и Елисијум³ - високо пространство вулканских облика, као и Валес Маринерис⁴ - систем кањона.

Локације за спуштање су биране на основу тога на ком пределу планете је највећа могућност постојања воде; ту би онда вероватноћа налажења органских материја такође била знатно виша. У складу са тиме, занимљив додаток опреми лендера је била и компактна лабораторија у саставу лендера у којој би се извршавали планирани биолошки експерименти.

Налази лендера су садржали неке узбудљиве новине. Добијена је прва панорамска слика рељефа Марса, као и слике у боји. Овде морамо напоменути да тадашње обојене слике нису верни показатељи Марса, јер су боје добијене застарелим техникама комбиновања слика са зеленим, црвеним и плавим филтером. Први примерци су били изразито дречаво жуто-црвени.

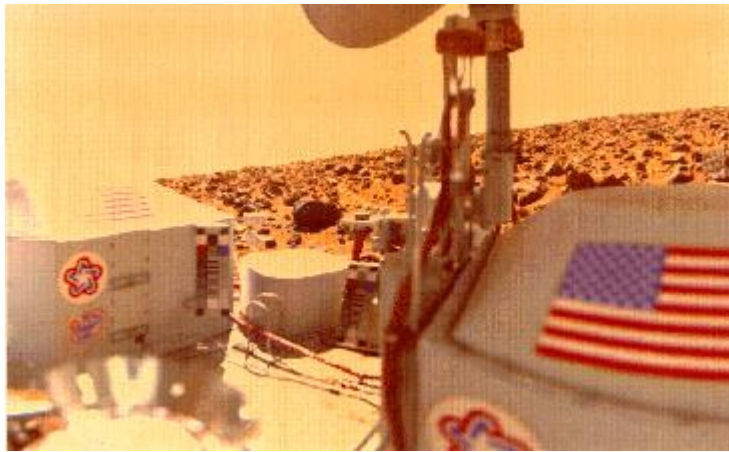
³ Tarsus and Elysium

⁴ Valles Marineris



Први панорамски поглед на Марс

https://rps.nasa.gov/rails/active_storage/blobs/eyJfcmFpbHMiOnsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBWlk9IiwiaXhwIjpuZDVsLWJwX2kIn19--9bb19269820f877bae15893ebd8ecd754b90b4a3/PIA00383.jpg?disposition=attachment



Слика Марса у боју

<https://d2pn8kiwq2w21t.cloudfront.net/images/jpegPIA00568.width-640.jpg>

Што се тиче биолошких експеримената, изведена су четири типа:

1) Експеримент размене гасова⁵

На почетку експеримента узет је мали узорак земљишта и стављен у комору са угљен-диоксидом и инертним гасом хелијумом. Комори су прво додати органски нутријенти, а касније и вода. После неког времена мерење су концентрације угљен-диоксида, кисеоника, азота и метана. Хипотеза је била да ће, ако постоје, метаболички организми или производити или конзумирати један од мерених гасова.

Одговор је био веома слаб, а оно мало размене гасова што је уочено је приписано високо оксидирајућем саставу самог земљишта – гвожђу-пероксиду и супероксиду.

⁵ Gas exchange experiment - GEX

2) Ослобађање означених гасова⁶ (нисам сигурна да ли овако на српском да напишем)

Поново узимамо узорак земљишта, али овог пута му додајемо нутријенте помешане са радиоактивним угљеником C14. Праћењем промене концентрације C14 се прати и промена у саставу смеше нутријента које би настале током метаболичких процеса организама. Након првог "дозирања" земљишта смесом, уследила би два пропратна, идентична теста на истом узорку. Овај експеримент је дао шокантне резултате, али нажалост, само на први поглед. Наиме, након прве итерације, запажена је велика промена у концентрацији радиоактивног молекула, што би индиковало постојање великог броја живих микроорганизама. Проблем настаје у два пропратна извођења где нису детектоване скоро никакве промене.

Неки научници и данас имају трачак наде да ови иницијални добри резултати дају назнаке живота на Марсу, али већина прихвата следеће објашњење: Марс нема озонски омотач те је његова површина у директном контакту са ултраљубичастом светлошћу. У комбинацији са ниским температурама, ово може изазвати реакцију угљен-диоксида са земљишта за производњу реактивних супероксида (соли које садрже O_2^-). Када се оне помешају са органским молекулима, лако оксидују у угљен-диоксид што објашњава првобитни резултат. Недостатак промена у каснијем покушају је због тога што је хемикалија која је проузроковала прву промену једноставно "потрошена".

Остала два експеримента – 3) Пиролитичко ослобађање⁷ и 4) Експеримент масеног спектрометра⁸ на веома сличан начин покушавају да детектују било какве органске материје или промене у саставку узорка земљишта при метаболичким процесима. Као и до сада, резултати су били негативни.

4.3 Нови приступ

1980. година је била неплодна у погледу даљих истраживања. У овом периоду је Америка почела да планира прву експедицију на Марс са људском посадом. План је био да посада слети на Марс између 1982. и 1986. године, али су наишли на једну непремостиву препреку - новац. За овакав корак, процењен неопходан буџет је био оквирно 10 билиона долара, што би данас износило око 70 билиона. Очекивано, Бела

⁶ Labeled release experiment - LR

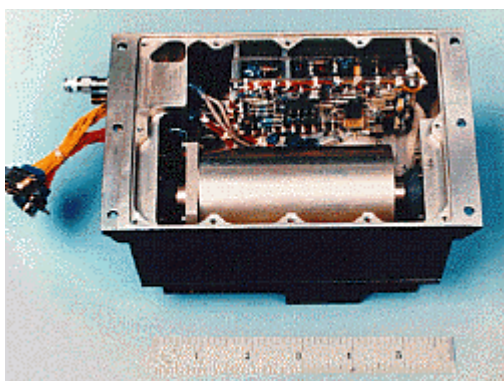
⁷ Pyrolytic release - PR

⁸ Gas chromatograph – mass spectrometer - GCMS

кућа није била одушевљена износом, а ни подршка јавности није била велика, па је на крају план заборављен.

После читаве деценије, 1992. година није понудила значајне резултате, након што је летелица *Марс Обезрвер* изгубила контакт са Земљом тик пред слетање. Ово је посебно погодило Америку зато што је изгубљена огромна количина новца искоришћена за програм. Ово је подстакло настанак новог правца у дизајнирању опреме – Брже, Боље, Јефтиније⁹ програм, чија је сврха била употребити све бржи развој компјутерске технологије ради минимизирања трошкова.

Последње мисије које ћемо размотрити су *Mars Pathfinder* и *Mars Surveyor* (1996). Након претходног неуспеха, НАСА је одлучила да покаже да може да постигне резултате и у исто време уштеди новац. Користи се нова опрема - камере високе резолуције, спектрометар термалне емисије¹⁰, уређаји за одређивање Доплеровог ефекта при слању радио сигнала назад на Земљу¹¹...



Радио емитор



Камера високе резолуције



Спектрометар термалне емисије

https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/thumbnail/mgs-rs_sm.gif
https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/thumbnail/mgs-moc_sm.gif
https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/thumbnail/mgs-tes_sm.gif

Може се рећи да је ова деценија била најплоднија до тада по питању сазнања и прикупљених података, којих је било више него у свим дотадашњим мисијама заједно. Проучена је Марсова површина, атмосфера и унутрашњост. Присутни су и докази да можда постоје испод-површински слојеви воде на неким местима планете.

⁹ Faster, Better, Cheaper – FBC program

¹⁰ Уређај за мерење енергије емитоване од стране посматраног објекта

¹¹ Радио сигнали пролазе кроз атмосферу Марса на путу до Земље, начин на који она утиче на сигнале даје информације потребне за одређивање физичких карактеристика атмосфере, на пример гравитационог поља

5. ШТА ДАЉЕ?

У новом миленијуму, ослањајући се на искуства и сазнања из претходних мисија, променио се и фокус истраживања. Користећи добијену свеобухватну, али и и мутну слику Марса, важно је усресредити се на њено изоштравање. Тражење конкретних водених површина, вулканских активности и осталих потенцијалних сличности са Земљом представља нови циљ. У складу с тиме, ровер Opportunity¹², који је данас најдуготрајнији истраживач са 14 година рада проведених на Марсу, потврдио је присуство стајаће воде на Марсу током дугих периода, древних хидротермалних система као и присуство руда које се формирају у води на Земљи.

На његова истраживања се надовезује ровер Curiosity, спуштен на Марс 2012. године, а који је у функцији и дан данас. Извештаји додатно потврђују претходна открића о воденим површинама и употпуњују их могућношћу некадашњег постојања питке воде. Пронађени су и органски молекули који показују да су постојале сирове основе за почетак живота, иако не знамо да ли је у неком тренутку до тога и дошло.

Мисије на Марс напредују великим корацима, а најбољи показатељ тога је тренутно актуелна мисија Марс 2020 у оквиру које је остварено прво полетање са Марса изведено хеликоптером Ingenuity. Пре само неколико година је, због Марсове ретке атмосфере, ово деловало као далеки сан.

На крају, слање људске посаде постаје све реалнија могућност и нада за потпуно нов период у науци.

¹² Opportunity – ровер послат на Марс као део мисије Mars Exploration Rover, активан од јануара 2004. до јуна 2018. године

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.space.com/13558-historic-mars-missions.html>
2. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/mars-exploration-article#:~:text=Exploring%20Mars%20helps%20scientists%20learn,still%20exists%20on%20Mars%20today.>
3. <https://web.archive.org/web/20170427153910/http://uapress.arizona.edu/onlinebks/MARS/CONTENTS.HTM>
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Exploration_of_Mars
5. <https://edition.cnn.com/2021/04/15/world/mars-exploration-humankind-scn/index.html>
6. https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Why_go_to_Mars
7. https://www.nasa.gov/mission_pages/mars/missions/index-past.html
8. <https://www.astronomija.org.rs/misije/4825-spisak-misija-na-mars-sa-ljudskim-posadama>
9. https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/chronology_mars.html
10. <https://www.astronomija.org.rs/nauka/fizika/12189-gravitacioni-manevri>
11. <https://mars.nasa.gov/msl/mission/science/results/#:~:text=Curiosity%20found%20sulfur%2C%20nitrogen%2C%20oxygen,drinkable%20water%20once%20flowed%20there.>