

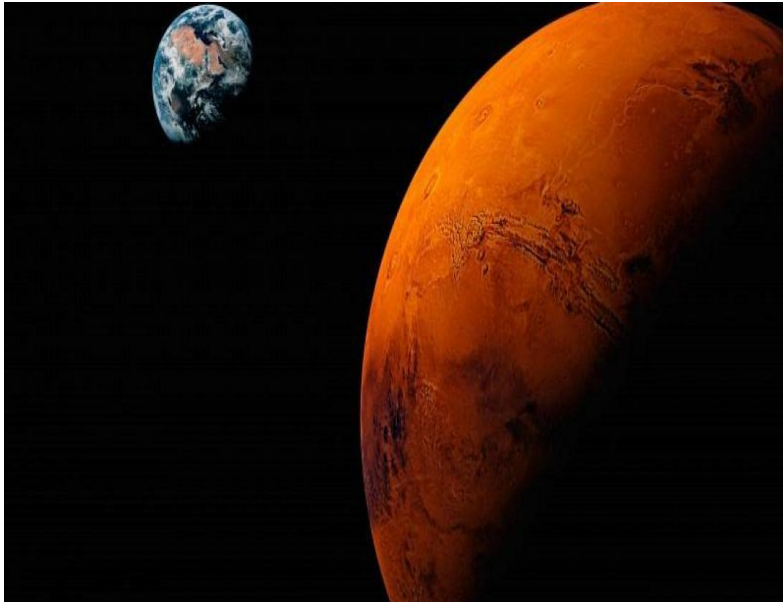
**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΣΧΕΔΙΟ ΤΗΣ NASA: ΕΠΟΙΚΙΣΜΟΣ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ  
ΑΡΗ**



**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΤΣΙΜΑΡΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

**Α.Γ.Μ:4227**

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΛΑΜΠΟΥΡΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΣΧΕΔΙΟ ΤΗΣ NASA: ΕΠΟΙΚΙΣΜΟΣ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ  
ΑΡΗ**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΤΣΙΜΑΡΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

**Α.Γ.Μ.:4227**

**Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 18/05/2020**

**Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:**

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότης	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ:

## Περιεχόμενα

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ .....	1
Περίληψη.....	4
Abstract .....	5
Ο κόκκινος πλανήτης.....	6
1.1 Η τροχιά του πλανήτη.....	7
1.2 Τα φυσικά χαρακτηριστικά του Άρη .....	7
1.3 Η επιφάνεια και η ατμόσφαιρά του .....	8
1.4 Κλιματικά φαινόμενα .....	9
1.1.4 Ο κύκλος του CO <sub>2</sub> .....	9
1.2.4 Ο υδρολογικός κύκλος.....	10
1.2.5 Ο κύκλος της σκόνης.....	10
2.1 Οι αποστολές και η εξερεύνηση του Άρη.....	10
2.2.1 Οι Ρωσικές αποστολές στον Άρη .....	11
2.2.2 Οι Ευρωπαϊκές αποστολές στον Άρη .....	13
2.2.3 Οι Αμερικανικές αποστολές στον Άρη.....	14
3.1 Επανδρωμένη αποστολή στον Άρη και οι δυσκολίες της .....	18
4.1 Η γαιοπλασία του Άρη.....	20
4.2 Οι ανάγκες εποίκισμού σε άλλους πλανήτες .....	21
5.1 Το σχέδιο της γαιοπλασίας του Άρη με μετατροπή της ατμόσφαιρας.....	22
6.1 Η αντίδραση Bosch.....	24
7.1 Η αντίδραση Sabatier .....	27
8.1 Τα πρώτα βήματα της γαιοπλασίας.....	31
8.2 Θέρμανση του πλανήτη.....	31
8.2.1 Θέρμανση πλανήτη μέσω κατόπτρων.....	32
8.2.2 Θέρμανση του Άρη με χρήση δραστικών θερμοκηπικών αερίων .....	33
8.2.3 Εγκατάσταση πρότυπου συστήματος επεξεργασίας της αρειανής ατμόσφαιρας ....	33
8.2.4 Πιθανές μέθοδοι παραγωγής νερού .....	35
9.1 Η ίδρυση της Space- X και το έργο της.....	42
9.2 Το σχέδιο εποίκισμού του Άρη της Space X.....	43
Βιβλιογραφία.....	47

## Περίληψη

Οι ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες του πληθυσμού, οι φόβοι για καταστροφή του πλανήτη Γη (π.χ από την πτώση αστεροειδούς), η συνεχόμενη ρύπανση της ατμόσφαιρας αλλά και η έλλειψη φυσικών πόρων έχουν οδηγήσει σε μια ταχύτατη προσπάθεια εποίκησης κι άλλων πλανητών του ηλιακού μας συστήματος. Τέτοιοι πλανήτες είναι κυρίως ο Άρης λόγω της απόστασης του από την Γη αλλά και της ατμόσφαιρας του αλλά και η Αφροδίτη. Ωστόσο όσο κι αν παρουσιάζουν ομοιότητες οι παραπάνω πλανήτες με την Γη χρειάζεται να γίνουν αλλαγές στην ατμόσφαιρα αλλά και στο έδαφος ώστε να μοιάζουν περισσότερο με το δικό μας περιβάλλον και να είναι κατάλληλο για να υποστηρίξει την ανθρώπινη ύπαρξη. Η Nasa όσο και η Space – X του Elon Musk έχουν ξεκινήσει ένα σπουδαίο έργο για να επιταχύνουν αυτό το εγχείρημα.

Σύμφωνα με την παρούσα πτυχιακή η μετατροπή της ατμόσφαιρας του Άρη μπορεί να επιτευχθεί με την μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα μέσω των εξώθερμων αντιδράσεων Bosch και Sabatier. Για τις παραπάνω αντιδράσεις απαιτείται υδρογόνου το οποίο μπορεί να προκύψει είτε μέσω φωτοκαταλυτικής διάσπασης είτε μέσω ενζυμικής κατάλυσης βιομάζας σακχάρων από φυτικές καλλιέργειες στο έδαφος του κόκκινου πλανήτη.

Ο Elon Musk, ο ιδρυτής και ιδιοκτήτης της Tesla, έχει ένα ολοκληρωμένο σχέδιο για τον αποικισμό του Άρη από το ανθρώπινο είδος. Το μόνο που δυσκολεύει αυτό το σχέδιο είναι το υπέρογκο κόστος του, ωστόσο κάθε βήμα του Musk είναι προς τη μείωση αυτού του κόστους, όπως οι επαναχρησιμοποιούμενοι πύραυλοι.

## Abstract

The growing needs of the population, fears of the destruction of the planet Earth (eg from the fall of an asteroid), the continuous pollution of the atmosphere and the lack of natural resources have led to a rapid effort to colonize other planets in our solar system. . Such planets are mainly Mars due to its distance from Earth and its atmosphere and Venus. However, as much as the above planets have similarities with the Earth, changes need to be made in the atmosphere but also in the ground in order to be more like our environment and to be suitable to support human existence. Elon Musk's Nasa and Elon Musk's Space-X have embarked on a major project to accelerate this venture.

According to the present dissertation, the conversion of the Martian atmosphere can be achieved by the conversion of carbon dioxide through the exothermic reactions of Bosch and Sabatier. The above reactions require hydrogen, which can be obtained either by photocatalytic cleavage or by enzymatic catalysis of sugar biomass from vegetable crops in the soil of the red planet.

Elon Musk, the founder and owner of Tesla, has a comprehensive plan for the human colonization of Mars. The only thing that complicates this plan is its enormous cost, however every step Musk takes is to reduce these costs, such as reusable rockets.

## Ο κόκκινος πλανήτης

Ο Άρης ή αλλιώς «κόκκινος πλανήτης» δημιουργήθηκε πριν από 4.5 δις. Χρόνια από τον ίδιο πλανητικό δίσκο που προήλθαν και οι υπόλοιποι πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος. Η πρώτη αναφορά σε αυτόν έγινε από τον Γαλιλαίο όπου μέσα απ το αυτοσχέδιο τηλεσκόπιο του παρατήρησε τα βουνά, τις πεδιάδες και τους κρατήρες του. Η απόσταση του από την Γη τον κατατάσσει τέταρτο σε σειρά ενώ δεύτερο από την απόσταση του από τον Ήλιο. Είναι ο έβδομος πλανήτης σε διαστάσεις και μάζα. Ο χαρακτηρισμός «κόκκινος» οφείλεται στο τριοξείδιο του σιδήρου που καλύπτει σχεδόν όλη την επιφάνεια του. Ανήκει στην κατηγορία των γήινων ή πετρωδών πλανητών μαζί με την Αφροδίτη, τη Γη και τον Ερμή. Η ονομασία του προήλθε από τον θεό του πολέμου, τον Άρη εξαιτίας του έντονου κόκκινου χρώματος του το οποίο πολλοί αρχαίοι πολιτισμοί τον συνέδεαν με τον πόλεμο (Salyk, 2019).

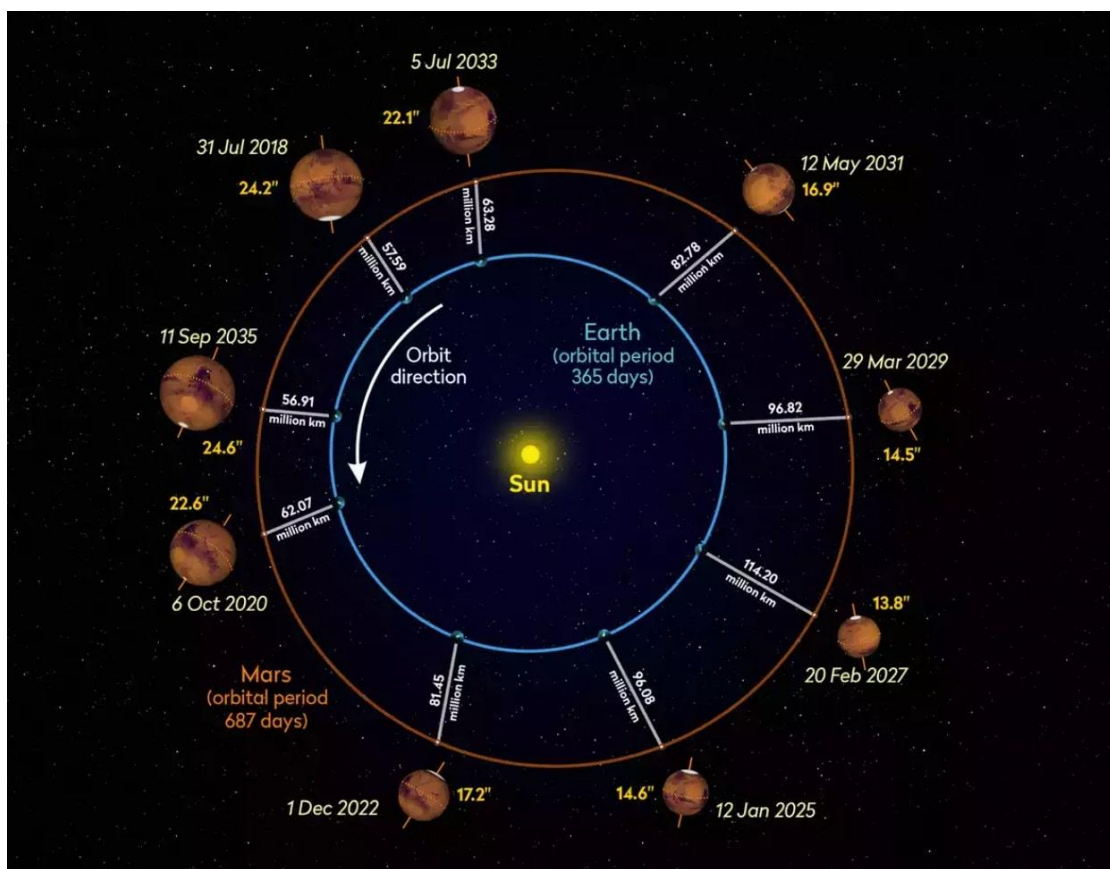
Η απόσταση του Άρη από τη Γη δεν είναι σταθερή. Σε αυτό οφείλονται οι ελλειπτικές τροχιές των δυο πλανητών. Η μόνη στιγμή που μπορούν να συναντηθούν είναι όταν η Γη βρίσκεται στο πιο μακρινό σημείο της τροχιάς της από τον ήλιο και ο Άρης στο κοντινότερο σημείο από αυτόν.

Η αρειανή μέρα διαρκεί 24 ώρες και 39 λεπτά και είναι η πλήρης περιστροφή του πλανήτη γύρω από τον εαυτό του. Το αρειανό έτος διαρκεί 687 μέρες και αφορά την περιστροφή του γύρω από τον Ήλιο. Η επιτάχυνση βαρύτητας στην επιφάνειά του είναι περίπου  $3,7 \text{ m/s}^2$  ενώ η ατμοσφαιρική πίεση είναι  $0,007 \text{ atm}$ . Η μέση θερμοκρασία επιφανείας είναι  $-35^\circ \text{C}$  (από  $-87^\circ \text{C}$  η ελάχιστη έως  $17^\circ \text{C}$  η μέγιστη). Το μαγνητικό πεδίο του Άρη είναι ισχνό, με αποτέλεσμα να εκτίθεται σε ριπές φορτισμένων σωματιδίων και σε κοσμική ακτινοβολία (Staff, 2019).

Λόγω του μικρού μεγέθους του δεν κατάφερε ο Άρης να κρατήσει ολόκληρη την ατμόσφαιρά του. Για τον λόγο αυτό το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας απελευθερώθηκε στο διάστημα ρίχνοντας την ατμοσφαιρική του πίεση αρκετά χαμηλά εξατμίζοντας το νερό που υπήρχε το οποίο μετατράπηκε σε πάγο στο υπέδαφος και στους πόλους του πλανήτη. Όλα τα παραπάνω μπορούν να χαρακτηρίσουν τον πλανήτη ερημικό, άνυδρο και με αραιή ατμόσφαιρα (Staff, 2019).

## 1.1 Η τροχιά του πλανήτη

Η περιστροφή του πλανήτη γύρω από τον Ήλιο διαρκεί 687 μέρες σχεδόν το διπλάσιο απ ότι διαρκεί της Γης. Το παραπάνω φαινόμενο εξηγείται στην μεγάλη απόσταση του πλανήτη από τον Ήλιο ( $2,279 \times 10^8$  Km) και στη δεύτερη πιο μεγάλη ελλειπτική τροχιά από κάθε άλλο πλανήτη. Το αφήλιο του πλανήτη το πιο μακρινό δηλαδή σημείο του από τον Ήλιο είναι 249,23 εκατομμύρια χιλιόμετρα ενώ το περήλιο του, το πιο κοντινό σημείο του από τον Ήλιο απέχει 206,62 χιλιόμετρα μακριά. Περιληπτικά η μέση απόσταση του είναι 227,9 εκατομμύρια χιλιόμετρα (Haberle,2019).



Εικόνα 2: Η περιστροφή του Άρη γύρω από τον Ήλιο (Πηγή: Encyclopedia Britannica © 2013)

## 1.2 Τα φυσικά χαρακτηριστικά του Άρη

Ο Άρης σε σχέση με την Γη έχει 9 φορές μικρότερη μάζα και όγκο 6,5 φορές μικρότερο. Η πυκνότητά του είναι  $3933 \text{ Kg/m}^3$  και η διάμετρος του στον Ισημερινό είναι 6.793. Η βαρύτητα στον κόκκινο πλανήτη είναι 62% μικρότερη απ'ότι στη Γη. Οι δορυφόροι

του Άρη είναι δύο: ο Φόβος και ο Δείμος. Το σχήμα του δεν είναι τελείως σφαιρικό καθώς είναι πιο πεπλατυσμένοι στους πόλους (Haberle, 2019).

### 1.3 Η επιφάνεια και η ατμόσφαιρά του

Τα ορυκτά του πλανήτη που είναι πλούσια σε σίδηρο προκαλούν το έντονο κόκκινο χρώμα του. Η επιφάνεια του είναι πλούσια σε σκόνη και άμμο, πετρώδεις βουνά και κρατήρες ηφαιστειών. Νερό στην επιφάνεια δε μπορεί να υπάρξει εξαιτίας της ψυχρής του ατμόσφαιρας. Υπάρχουν θεωρίες οι οποίες αναφέρουν ότι υπάρχουν συνεχόμενα υπόγεια κανάλια μέσα από τα οποία μπορεί να ρέει νερό μέχρι την επιφάνεια. Στον Άρη συναντάει κανείς το ψηλότερο βουνό ( Olympus Mons) και την μακρύτερη κοιλάδα του Ηλιακού συστήματος. Πολλά είναι και τα ηφαίστεια που βρίσκονται στον πλανήτη. Η ύπαρξη νερού στους πόλους του πλανήτη συναντώνται υπο την μορφή υδρατμών. Τα διακριτά κανάλια απορροής είναι από τις πιο ισχυρές αποδείξεις ύπαρξης νερού στον Άρη. Σχετίζεται με σχηματισμούς που δημιουργήθηκαν απότο εσωτερικό ορεινών όγκων, όπου εξαιτίας της μεγάλης κατηφορικής κλίσης τους το μετέφεραν στο ηπειρωτικό έδαφος και τελικά διακόπηκαν απότομα

Η ατμόσφαιρά του είναι λεπτή και διαπερατή αλλά με μεγάλο εύρος θερμότητας στην έκταση της. Το 95% καλύπτεται από διοξείδιο του άνθρακα και το υπόλοιπο από σκόνη η οποία προκαλεί την έντονη θερμότητα. Άλλα αέρια που συναντώνται είναι το άζωτο, το αργό, το οξυγόνο και το μονοξείδιο του άνθρακα αλλά και ευγενή αέρια. Το κλίμα του πλανήτη είναι πλέον παγωμένο και ξηρό ωστόσο παλαιότερα ευρήματα πληροφορούν ότι υπέστη μεγάλη κλιματική αλλαγή και στο παρελθόν ήταν διαφορετικός.

Οι εποχές του έχουν μεγάλη διάρκεια και παρατηρείται εναλλαγή αυτών όπως και στη Γη. Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη είναι 215K ωστόσο εξαρτάται από τις εκπομπές επιφανειακής θερμότητας. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που σημειώνονται είναι 150K και παρατηρούνται στους πόλους του πλανήτη κατά τη διάρκεια του χειμώνα τότε εντοπίζεται και συμπύκνωση του CO<sub>2</sub>. Οι βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται οι θερμοκρασίες του πλανήτη είναι τρεις:

- Η μισή ακτινοβολία συγκριτικά με τη Γη που λαμβάνει ο Άρης από τον ήλιο.
- Η έντονη ελλειπτική τροχιά σε σχέση με την Γη

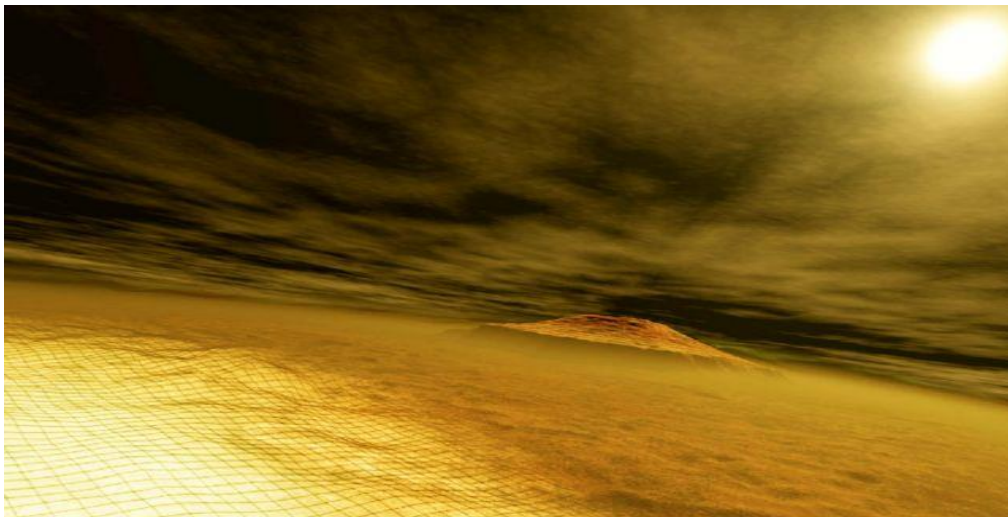


- Η κλίση και η ταχύτητα περιστροφής του που είναι παρόμοια με τον δικό μας πλανήτη (Williams, 2018).

## 1.4 Κλιματικά φαινόμενα

### 1.1.4 Ο κύκλος του CO<sub>2</sub>

Οι εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες του CO<sub>2</sub> οδηγούν στην συμπύκνωση του κυρίως στις πολικές περιοχές. Την άνοιξη ακολουθεί η εξάτμιση του όπου και παρατηρείται το φαινόμενο της αυξομείωσης του πάγου στους πόλους του πλανήτη. Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτει η ημετήσια εναλλαγή στον καθημερινό μέσο όρο επιφανειακής πίεσης. Καθώς ένα κάλυμμα πάγου αυξάνεται ένα άλλο υποχωρεί. Η εναλλαγή αυτή είναι ασύμμετρη καθώς η μικρότερη συμβαίνει όσο διαρκεί ο νότιος χειμώνας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκκεντρότητα της τροχιάς του Άρη. Οι νότιοι χειμώνες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια από τους βόρειους και για το λόγο αυτό συμπυκνώνεται και απομακρύνεται περισσότερο CO<sub>2</sub>. Οι πιέσεις έχουν μικρότερη ένταση κατά την διάρκεια του μέσου νότιου χειμώνα και είναι υψηλότερες την άνοιξη όταν το περισσότερο στρώμα του πάγου έχει υποχωρήσει αλλά ποτέ δεν εξαφανίζεται τελείως ακόμα και κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.



Εικόνα 3: Αρειανή αμμοθύελλα στον βόρειο πόλο (Πηγή: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov))

#### **1.2.4 Ο υδρολογικός κύκλος**

Όταν εμφανίζεται παγωμένο νερό στο βόρειο πόλο εξαχνώνεται και εμφανίζεται εκεί. Ένα μέρος των υδρατμών μεταφέρονται κατά μήκος του Ισημερινού στην ατμόσφαιρα. Η υγροποίηση και ο σχηματισμός υδρατμών είναι εύκολος στον Άρη σχηματίζοντας τα σύννεφα. Παρόλα αυτά η παρουσία νερού στα σύννεφα είναι ελάχιστη. Συγκέντρωση νεφών έχουν δείξει τη δημιουργία ομίχλης σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο.

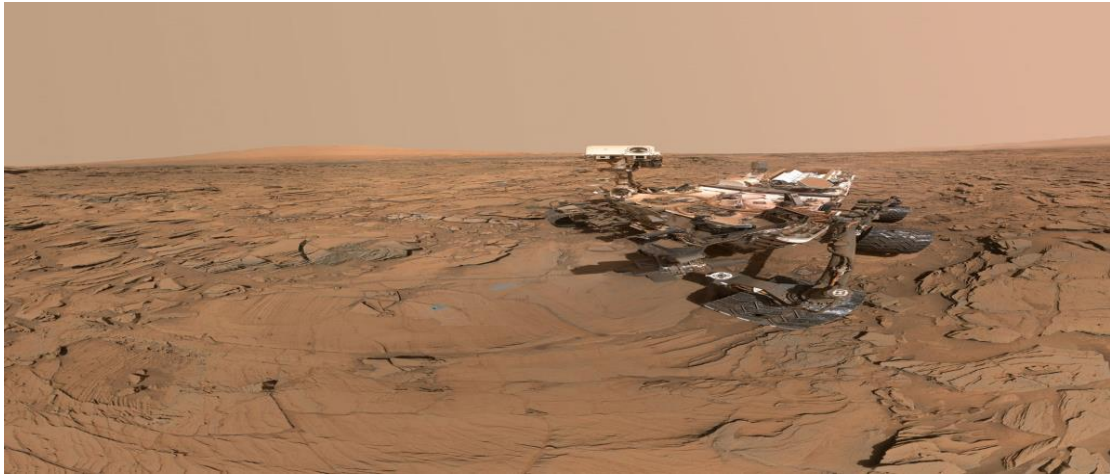
#### **1.2.5 Ο κύκλος της σκόνης**

Η επιφάνεια του κόκκινου πλανήτη είναι καλυμμένη με ένα στρώμα σκόνης η οποία σηκώνεται στην ατμόσφαιρα με το φύσημα του ανέμου μετακινώντας διάφορα σωματίδια. Για να προκληθεί μια αμμοθύελα αρκεί ένας ισχυρός άνεμος αφού η πυκνότητα της ατμόσφαιρας είναι χαμηλή. Ωστόσο για να προκληθεί μια αμμοθύελα εξαρτάται από την επιφάνεια και την ατμοσφαιρική σταθερότητα. Οι αμμοθύελες ταξινομούνται ανάλογα με το μέγεθος τους σε:

- Ανεμοστρόβιλους
- Τοπικές καταιγίδες
- Περιφερειακές καταιγίδες
- Καταιγίδες που καλύπτουν ολόκληρο τον πλανήτη (Haberle, 2019).

### **2.1 Οι αποστολές και η εξερεύνηση του Άρη**

Παρόλο που ο πλανήτης Άρης αποτελεί έναν ελκυστικό πλανήτη για εξερεύνηση είναι αρκετά δυσπρόσιτος για αυτό και σχεδόν όλες οι αποστολές που οργανώθηκαν απέτυχαν ή καταστράφηκαν (Staff,2019). Ωστόσο λόγω της κοντινής του απόστασης από την γη αλλά και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του καθώς και την αναφορά σε ύπαρξη νερού αποτελεί έναν πλανήτη που μπορεί να φιλοξενήσει ζωή (NASA,2015).



**Εικόνα 4:** Το ερευνητικό rover Curiosity στην επιφάνεια του Άρη (Πηγή: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov))

### 2.2.1 Οι Ρωσικές αποστολές στον Άρη

Η Ρωσία από την αρχή της εξερεύνησης του διαστήματος έδειξε μεγάλο ενδιαφέρον για να σχεδιάσει αποστολή για τον Άρη. Ήταν η πρώτη χωρίς βέβαια να το πετύχει που έστειλε ερευνητικά σκάφη. Οι αποστολές της είχαν την ονομασία Marsnik 1 και 2 και έγινε το 1960. Αν και απέτυχαν το 1962 την 1<sup>η</sup> Νοεμβρίου έγινε η αποστολή του Mars 1 η οποία πέρασε από την τροχιά του Άρη σε απόσταση 195.000 χλμ. από την επιφάνειά του στις 19 Ιουνίου του 1963. Έργο της αποστολής ήταν η λήψη φωτογραφιών, η συλλογή δεδομένων από τον ηλιακό άνεμο, και ο καθορισμός μαγνητικού πεδίου.

Ένα αντίγραφο του Mars 1, το Zond 2, εκτοξεύτηκε στις 30 Νοεμβρίου του 1964, αλλά ένα από τα ηλιακά του πάνελ αστόχησε, με αποτέλεσμα να λειτουργεί με τη μισή ισχύ από την οποία είχε υπολογιστεί ότι θα λειτουργούσε. Η επικοινωνία χάθηκε τον Μάιο του 1965, οπότε δε μεταδόθηκε κανένα δεδομένο κατά το πέρασμά του από την τροχιά του Άρη στις 6 Αυγούστου του 1965. Παρόμοια τύχη είχε και η επόμενη αποστολή, η Zond 3, η οποία έχασε το «παράθυρο» εκτόξευσης το 1964.

Το 1971 έστειλαν ξανά αποστολή χωρίς επιτυχία, την Cosmos 419. Ωστόσο είχαν καλύτερη τύχη με τα Mars 2 και Mars 3 με σκάφη προσεδάφισης που εκτοξεύτηκαν στις 19 και 28 Μαΐου το 1971. Το Νοέμβριο του ίδιου έτους κατάφεραν να φτάσουν στην τροχιά του Άρη, λίγες εβδομάδες αργότερα από τη στιγμή που είχε φτάσει η αμερικανική αποστολή Mariner 9. Το ραδιόμετρο υπερύθρων παρείχε τις πρώτες ενδείξεις για τις θερμοκρασίες της επιφάνειας και της θερμικής αδράνειας,

υποδηλώνοντας ότι η επιφάνεια του πλανήτη είχε καλυφθεί από ξηρή σκόνη (Staff,2019).

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από εκείνη την αποστολή ήταν τα πολύ υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> στην επικάλυψη του πάγου στον βόρειο πόλο αποδεικνύοντας ότι είναι το βασικό συστατικό. Από τις φωτομετρικές μετρήσεις αποδείχθηκε ότι τα νέφη αμμοθύελλας είχαν ύψος 10χλμ και ότι η ύπαρξη υδρατμών στον Άρη ήταν πολύ χαμηλή. Κατάφεραν να μετρήσουν το μέγεθος των σωματιδίων της σκόνης αλλά και των σωματιδίων στα νέφη συμπύκνωσης των πόλων. Μέτρησαν με ποιοτική και ποσοτική μέθοδο ακτινοβολίες από την ατμόσφαιρα. Τέλος ακόμα ένα σημαντικό εύρημα ήταν ο διαχωρισμός της ιονόσφαιρας σε δυο μεγάλες περιοχές ανάλογα με το ύψος και την σύνθεση. Από το μαγνητικό πεδίο προέκυψε πως υπάρχει ένα πολύ ασθενές φορτίο περίπου 4.000 φορές μικρότερο απ' ότι της γης.

Στην πορεία είχαμε νέες προσεδαφίσεις των σκαφών Mars 4 και Mars 5 τα οποία εκτοξεύτηκαν το 1973 στις 21 και 25 Ιουλίου αντίστοιχα. Η Ρωσία συνέχισε με την εκτόξευση των αεροσκαφών Mars 6 και 7 στις 5 και 9 Αυγούστου αντίστοιχα. Και τα τέσσερα αεροσκάφη κατάφεραν να προσεδαφιστούν στον Άρη από το Φεβρουάριο μέχρι τον Μάρτιο του 1974. Ωστόσο το Mars 4 δεν κατάφερε να περάσει στην τροχιά του κόκκινου πλανήτη. Παρόλα αυτά η ραδιοσυχνότητα του κατάφερε να εντοπίσει για πρώτη φορά την νυχτερινή ιονόσφαιρα του πλανήτη. Το Mars 5 κατάφερε να μπει στην τροχιά του Άρη αλλά εκτέλεσε μόνο 22 περιφορές σε τροχιά λόγω της απώλειας πίεσης. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος κατάφερε να προσφέρει 60 φωτογραφίες από την επιφάνεια του πλανήτη. Το Mars 5 πρόσθεσε νέες πληροφορίες στους επιστήμονες αποδεικνύοντας πως η θερμική αδράνεια διαφέρει στην επιφάνεια του Άρη ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων των επιφανειακών υλικών. Ακόμα το Mars 5 εντόπισε μεγαλύτερη ύπαρξη υδρατμών απ' ότι είχε εντοπίσει το Mars 3 (David, 2021). Το όζον που εντοπίστηκε ήταν σε υψόμετρο 40 χιλιομέτρων και ήταν 3 φορές περισσότερο απ' αυτό που υπάρχει στη γη. Από τις παραπάνω αποστολές καμία δεν κατάφερε να προσεδαφίσει συσκευή προσεδάφισης. Το Mars 7 βγήκε εκτός πορείας ενώ το Mars 6 έδωσε πληροφορίες για την ατμοσφαιρική πυκνότητα και τις θερμοκρασίες που επικρατούν.

Οι Ρώσοι επιστρέφουν ξανά στον πλανήτη Άρη στις 7 και 12 Ιουλίου 1988 εκτοξεύοντας το Phobos 1 και Phobos 2 αντίστοιχα. Στόχος τους ήταν να φτάσουν

στο μεγαλύτερο φεγγάρι του Άρη τον Φόβο. Το σκάφος θα καταφέρει τελικά να προσεδαφίσει δυο μικρές συσκευές και να βρεθεί σε κυκλική τροχιά γύρω από τον Φόβο. Στόχος τους είναι να μελετήσουν την στοιχειακή σύνθεση του φεγγαριού με την βοήθεια λέιζερ και όπλων ιόντων για την εξάχνωση μικρών τμημάτων εδάφους.

Το Phobos 2 μπήκε στην τροχιά του Άρη στις 29 Ιανουαρίου του 1989. Στο φως έφερε νέες πληροφορίες σχετικά με την τοπογραφία και την ορυκτολογία της επιφάνειας του Άρη μέσω υπέρυθρου φασματόμετρου χαρτογράφησης και μέσω θερμικού υπέρυθρου ραδιόμετρου τα οποία αποκάλυψαν ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά όπως τα νέφη. Ακόμα προέκυψαν πληροφορίες σχετικές με τις καθημερινές διακυμάνσεις της ποσότητας του ατμοσφαιρικού όζοντος και υδρατμών. Άλλες σημαντικές πληροφορίες που έδωσε το Phobos 2 ήταν καθαρές εικόνες του φεγγαριού, ακριβείς μετρήσεις μάζας και πυκνότητας, πληροφορίες για την σύνθεση της επιφάνειας και τις εναλλαγές της θερμοκρασίας.

Η τελευταία προσπάθεια των Ρώσων έγινε το 1996 με την αποστολή του Mars 1996 με σκοπό τοπογραφικές και γεωλογικές έρευνες, κλιματικές και θερμοκρασιακές εναλλαγές καθώς και εναλλαγές στην πίεση και την ποσότητα αερολυμάτων. Ωστόσο η προσπάθεια αυτή απέτυχε και το σκάφος καταστράφηκε στις 16 Νοεμβρίου 1996 πέφτοντας στον Ειρηνικό Ωκεανό.

### **2.2.2 Οι Ευρωπαϊκές αποστολές στον Άρη**

Η Ευρώπη επιχείρησε την πρώτη της προσπάθεια για εξερεύνηση του Άρη το 2003 με το Mars Express. Η πρώτη εκτόξευση έγινε στις 2 Ιουλίου του 2003 και έφτασε σε τροχιά του Άρη στις 25 Δεκεμβρίου του 2003. Η τεχνολογία του συστήματος προσγείωσης με αερόσακους είχε χρησιμοποιηθεί στις αποστολές Pathfinder και Mars Exploration Rover. Στόχος ήταν η μελέτη της γεωλογίας και ορυκτολογίας του σημείου προσεδάφισης του, το κλίμα τον καιρό και τα ίχνη ζωής. Ωστόσο δεν μπόρεσε να βρεθεί κανένα σήμα και θεωρήθηκε χαμένο ως τις 6 Φεβρουαρίου του 2004. Σε αντίθεση το τροχιακό όχημα κατάφερε να λειτουργήσει επιτυχώς και να μεταδώσει αρκετά δεδομένα. Πρόσφερε υψηλού επιπέδου φωτογραφίες από την επιφάνεια του Άρη. Μια σημαντική ανακάλυψη ήταν η εύρεση νερού στους πόλους του πλανήτη και διαφορετικά είδη ορυκτών κατά μήκος της επιφάνειας. Ακόμα σημειώθηκαν εξαιτίας της παραγωγής οξειδίων του αζώτου νυχτερινές εκπομπές

φωτός στην ανώτερη ατμόσφαιρα του Άρη όπως και η ύπαρξη πολικού σέλας γεγονός που υποδηλώνει ισχυρό μαγνητισμό.

Άλλο ένα αξιοσημείωτο φαινόμενο της αποστολής είναι η ύπαρξη μεθανίου στην ατμόσφαιρα η οποία οφείλεται πιθανές ηφαιστειακές ή υδροθερμικές διεργασίες ή ίσως από βιολογική δραστηριότητα. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι ο ηλιακός άνεμος διαπερνά την ανώτερη ατμόσφαιρα του Άρη προκαλώντας έναν μηχανισμό που ευθύνεται για την έλλειψη νερού στον πλανήτη.

Το 2016 η αποστολή της ESA με τη Ρωσική Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαστήματος Roscosmos εκτόξευσε τον Μάρτιο της ίδιας χρονιάς ένα τροχιακό σκάφος και έναν προσεδάφιστή- rover. Το τροχιακό αεροσκάφος είχε ως στόχο να βρει ίχνη αερίων στην ατμόσφαιρα του Άρη, οι εποχικές αλλαγές στη σύνθεση και θερμοκρασία και η εύρεση υδρογόνου.

Κατά την κάθοδο του οχήματος προσεδάφισης μια επιπλοκή στο σύστημα πλοήγησης οδήγησε σε πρόωρη απελευθέρωση της οπίσθιας θερμικής ασπίδας και του αλεξίπτωτου με αποτέλεσμα το διαστημικό σκάφος να εκτελέσει ελεύθερη πτώση από ύψος 3,7 χλμ. και καταστράφηκε.

### **2.2.3 Οι Αμερικανικές αποστολές στον Άρη**

Οι Η.Π.Α ξεκίνησαν τις αποστολές τους στον Άρη το 1964 με την εκτόξευση των Mariner 3 και 4. Ωστόσο από τα δύο μόνο το Mariner 4 κατάφερε να φτάσει με επιτυχία στον Άρη σε απόσταση 9920 χμλ. Στις 14 Ιουλίου του 1965. Διαπιστώθηκε από φωτογραφίες η ύπαρξη πολλών κρατήρων και ότι η ατμόσφαιρα του Άρη αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα. Η ύπαρξη μαγνητικού πεδίου ήταν ισχνή και η πίεση βρισκόταν σε επίπεδα 500-1.000 Pa. Οι Αμερικάνοι συνέχισαν τις προσπάθειες τους με τα Mariner 6 και 7. Το Mariner 6 έφτασε πιο κοντά στον κόκκινο πλανήτη στις 3 Ιουλίου του 1969 και το Mariner 7 στις 5 Αυγούστου του ίδιου έτους. Τα δύο σκάφη παρουσίασαν αρκετό φωτογραφικό υλικό και έδωσαν πληροφορίες από μετρήσεις στην επιφάνεια, θερμοκρασίες, μοριακή σύνθεση επιφάνειας και ατμοσφαιρική πίεση.

Άλλη μια προσπάθεια έγινε με το Mariner 9 στις 24 Νοεμβρίου 1971 το οποίο σε συνεργασία με το Mars 2 των Ρώσων χτυπήθηκαν από μεγάλη αμμοθύελα. Στόχος της συγκεκριμένης αποστολής ήταν η έρευνα των δυο φεγγαριών του Άρη του Φοίβου και του Δείμου. Η αποστολή ήταν επιτυχής και ήταν ενεργή ως τις 27 Οκτωβρίου του 1972. Άλλα ευρήματα του Mariner 9 ήταν η ύπαρξη ηφαιστείων, φαραγγιών, καναλιών και κρατήρων. Ακόμα προέκυψαν νέα καιρικά φαινόμενα όπως αμμοθύελες, σύννεφα πάγου, πρωινή ομίχλη και λεπτομερής περιγραφή των δυο φεγγαριών του Άρη.

Το όχημα τροχιάς / προσεδάφισης Viking 1 ξεκίνησε στις 20 Αυγούστου 1975 και κατέφθασε στον Άρη στις 19 Ιουνίου 1976. Το 1982 κατάφερε να αποδώσει φωτογραφίες από το έδαφος και να ελέγξει για την ύπαρξη μικροοργανισμών Το Viking 2 εκτοξεύτηκε στις 9 Σεπτεμβρίου του 1975 και βρέθηκε σε τροχιά στις 7 Αυγούστου του 1976. Το όχημα έμεινε από καύσιμα και απενεργοποιήθηκε στις 25 Ιουλίου 1978. Τα δυο σκάφη έδωσαν αρκετές λεπτομέρειες για την γεωλογία της επιφάνειας του πλανήτη και των ατμοσφαιρικών φαινομένων για περίπου δυο αρειανά χρόνια (Williams, 2019). Άλλες πληροφορίες που δόθηκαν στο φως ήταν η μεταφορά υδρατμών στην ατμόσφαιρα, οι θερμοκρασίες, η λευκάγεια και η θερμική αδράνεια σε ολόκληρο τον πλανήτη. Έγιναν βιολογικά πειράματα με στόχο την εύρεση πιθανών βιογενών αποβλήτων. Οι έρευνες δεν κατέληξαν σε αδιαμφισβήτητη μορφή ζωής αλλά διαπιστώθηκε πως το έδαφος απελευθερώνει διάφορα αέρια όταν επικρατεί υγρασία στην ατμόσφαιρα. Άλλα πειράματα που βασίστηκαν σε μετεωρολογικό σταθμό σχετίζονται με τις έρευνες σε θερμοκρασίες, αλλαγές ανέμων, μαγνητικές ιδιότητες υλικών και μια έρευνα η οποία βασίστηκε σε ρομποτικό βραχίονα για να ληφθεί δείγμα αναφορικά με τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους ( Barlow, 2009).

Την 25<sup>η</sup> Σεπτέμβριο του 1992 η Αμερική επέστρεψε με νέα αποστολή στον Άρη με το όχημα Observer με μέλημα τους την μελέτη της σύνθεσης της επιφάνειας, την τοπογραφία, την ατμοσφαιρική και δυναμική σύνθεση και την παρουσία μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο η επικοινωνία χάθηκε στις 22 Αυγούστου του 1993.

Στις 4 Δεκεμβρίου 1996 η NASA δρομολόγησε την αποστολή Pathfinder και το όχημα προσεδάφισης ενεργοποιήθηκε στις 4 Ιουλίου 1997 (Barlow,2009) και λειτούργησε μέχρι τις 17 Σεπτεμβρίου του 1997 αν και προοριζόταν να λειτουργήσει

μόνο για μια βδομάδα. Το rover διαθέτει μια κάμερα και μετεωρολογικό εξοπλισμό, κάμερα πλοήγησης και φασματογράφο ακτινών X (Williams, 2019).

Το 1999 έγιναν ακόμα δυο προσπάθειες εξερευνήσεις του Άρη με το Mars Climate Orbiter το οποίο εκτοξεύτηκε στις 11 Δεκεμβρίου 1998 με σκοπό λειτουργίας ως μετεωρολογικός δορυφόρος. Δυο ήταν τα βασικά εργαλεία, το ατμοσφαιρικό βυθίμετρο και με μια συσκευή απεικόνισης χρώματος. Παρόλα αυτά ένα λάθος στη μετατροπή μονάδων μέτρησης έκανε το σκάφος να πετάξει πολύ χαμηλά στην ατμόσφαιρα του Άρη και να καεί (Williams, 2019).

Το δεύτερο όχημα ήταν το Mars Polar Planet που θα προσγειωνόταν στην άκρη της επικάλυψης του πάγου του νότιου πόλου του πλανήτη. Κύριος στόχος του ήταν να καταφέρει να σκάψει στο έδαφος και να ανιχνεύσει νερό με τον ειδικό βραχίονα λήψης δειγμάτων που διαθέτει. Όμως και αυτή η προσπάθεια απέτυχε κατά τη διάρκεια εσφαλμένης εκτίμησης αισθητήρων για την ενεργοποίηση ποδιών προσεδάφισης με αποτέλεσμα την καταστροφή του.

Η καταστροφή των δυο παραπάνω σκαφών καθυστέρησε μια νέα αποστολή καθώς ήταν δύσκολο να βρεθούν εκ νέου επιπλέον επενδύσεις. Η νέα αποστολή ήρθε το 2001 και ονομάστηκε Odyssey και είχε σκοπό να μεταφέρει έναν φασματογράφο ακτινών γ για να συλλέξει μετρήσεις ακτινοβολίας γ και νετρονίων που προκύπτουν είτε από τα υλικά της επιφάνειας είτε από φυσική ραδιενεργό αποσύνθεση ή λόγω αλληλεπίδρασης με την κοσμική ακτινοβολία. Το Odyssey μπήκε σε τροχιά στον Άρη στις 24 Οκτωβρίου του 2001.

Στις 4 Αυγούστου 2007 η NASA εκτόξευσε το Mars Phoenix το οποίο έφτασε στον Άρη στις 25 Μαΐου 2008 και κατάφερε να βρει νερό με τη μορφή πάγου κάτω από την επιφάνεια. Ωστόσο λόγω του σφοδρού χειμώνα στον Άρη οι ηλιακοί συλλέκτες του Phoenix υπέστησαν ζημιές και η επαφή χάθηκε τον Νοέμβριο του 2008. Έπειτα από πολλές αποτυχημένες προσπάθειες τελικά το σκάφος βρέθηκε κατεστραμμένο τον Μάιο του 2010.

Στις 26 Νοεμβρίου 2011 εκτοξεύτηκε Mars Science Laboratory, το Curiosity ήταν το μεγαλύτερο και αποτελεσματικότερο rover το οποίο προσεδάφιστηκε στον Άρη στις 5 Αυγούστου 2012. Η αποστολή αυτή έφτασε στον Άρη εφοδιασμένη με τεχνολογικές καινοτομίες που δοκίμασαν μια εντελώς νέα μέθοδο προσγείωσης. Το διαστημικό



σκάφος κατέβηκε με αλεξίπτωτο, ενώ στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δευτερολέπτων πριν από την προσγείωση, το σύστημα προσγείωσης πυροδότησε προωθητήρες για να του επιτραπεί να αιωρείται, καθώς ένας μάντας ελευθερώθηκε και γαντζώθηκε στην επιφάνεια. Το rover προσγειώθηκε στους τροχούς του, ο μάντας κόπηκε και το σύστημα προσγείωσης αποδεσμεύτηκε για να καταστραφεί σε μια ασφαλή απόσταση (Nasa-Jet Propulsion Laboratory, 2021).

Το Curiosity ήρθε για να ανακαλύψει εάν ο πλανήτης είχε ανέκαθεν τις κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες για να φιλοξενήσει ζώες μικροσκοπικών οργανισμών όπως τα μικρόβια. Στις αρχές ανακάλυψε χημικές και μεταλλευτικές προηγούμενων κατοικήσιμων περιβαλλόντων στον Άρη (Barlow, 2009). Εξακολουθεί να ερευνά τα πετρώματα από την εποχή που ο Άρης θα μπορούσε να φιλοξενήσει μικροβιακή ζωή. Το Curiosity διερευνά τον κρατήρα Gale και συλλέγει δείγματα πετρώματος, εδάφους και αέρα κατά τη διάρκεια της κίνησής του, για ανάλυση επί του σκάφους. Διαθέτει εργαλεία που περιλαμβάνουν 17 κάμερες, ένα λέιζερ για εξάχνωση στερεών και τη μελέτη μικρών σημείων που εντοπίζονται πάνω σε βράχους σε απόσταση καθώς και ένα τρυπάνι για τη συλλογή δειγμάτων κονιορτοποιημένων πετρών. Αναζητά ιδιαίτερες πέτρες που έχουν σχηματιστεί στο νερό ή έχουν ενδείξεις ενσωματωμένων οργανικών ενώσεων. Επίσης διαθέτει τα μεγαλύτερα, πιο προηγμένα όργανα για επιστημονικές μελέτες που έχουν σταλεί ποτέ στην επιφάνεια του Άρη. Μετράει επίσης τα χημικά αποτυπώματα που υπάρχουν σε διαφορετικούς βράχους και εδάφη για να καθοριστεί η σύνθεση και το ιστορικό τους, ιδιαίτερα κατά τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις τους με νερό.

Η αποστολή MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) που ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2013, έφτασε στην τροχιά του Άρη στις 21 Σεπτεμβρίου 2014 και εξέτασε τις αλλαγές στην ατμόσφαιρα του Άρη για να διαπιστωθεί καλύτερα γιατί έχει αραιωθεί για δισεκατομμύρια χρόνια (Barlow, 2009).

Η αποστολή InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transfer) είναι μια ακόμα αποστολή του προγράμματος NASA Discovery, η οποία εκτοξεύτηκε στις 5 Μαΐου 2018 και τοποθέτησε έναν μοναδικό προσεδαιφιστή στον Άρη για να μελετήσει το βαθύ εσωτερικό του. Με τη χρήση εξεζητημένων γεωφυσικών οργάνων, το InSight θα βυθιστεί βαθιά κάτω από την επιφάνεια του Άρη, ανιχνεύοντας τα αποτυπώματα των διαδικασιών σχηματισμού των χερσαίων

πλανητών, καθώς και τη μέτρηση των «ζωτικών σημείων» του πλανήτη: Τον «παλμό» του (σεισμολογία), τη «θερμοκρασία» του (αισθητήρες ροής θερμότητας) και τα «αντανακλαστικά» του (Barlow, 2009).

### **3.1 Επανδρωμένη αποστολή στον Άρη και οι δυσκολίες της**

Κύριος στόχος των αποστολών στον Άρη αποτελεί η επίτευξη βιώσιμων συνθηκών ζωής για τις ανθρώπινες αποστολές. Η ασφαλής αποστολή ανθρώπινου δυναμικού στον Άρη είναι το ο πιο σημαντικός παράγοντας των διαστημικών αποστολών αλλά και των χωρών. Η μη ύπαρξη όζοντος στον πλανήτη το οποίο το οποίο προστατεύει από υπεριώδη ακτινοβολία. Ωστόσο μια πιο λεπτομερής καταγραφή του περιβάλλοντος ακτινοβολίας θα μπορέσει να παρέχει περισσότερες πληροφορίες για τις αρνητικές επιδράσεις στους αστροναύτες και να μπορέσουν να φτιάξουν προστατευτικές στολές και ασφαλέστερα περιβάλλοντα κατοικίας.

Αυτό που είναι γνωστό για την επιφάνεια του Άρη είναι πως περιέχει ενώσεις υπεροξειδίων οι οποίες σε συνδυασμό με υπεριώδη ακτινοβολία διασπών οργανικά μόρια τα οποία πρέπει να εξεταστούν μαζί και με άλλες ενώσεις και συστατικά το κατά πόσο επηρεάζουν την ανθρώπινη παρουσία προτού αυτή σταλεί. Κάποιες από τις σημαντικές δυσκολίες που θα συναντήσει μια επανδρωμένη αποστολή στον Άρη θα αναλυθούν παρακάτω :

#### **1.3.1 Υπεριώδης ακτινοβολία**

Οι αστροναύτες που θα σταλούν στον κόκκινο πλανήτη θα εκτεθούν σε γαλαξιακή κοσμική ακτινοβολία η οποία αποτελείται από αρκετά πρωτόνια υψηλής ενέργειας και νουκλεόνια υψηλού φορτίου (Cucinotta, Kim, Chappell, Huff, 2013). Σύμφωνα με τα πρότυπα της NASA ορίζουν ως κατώτερο ποσοστό έκθεσης το 3% για μελλοντικές οργανικές βλάβες ή ακόμα και θάνατο στο άνω διάστημα 95% του υπολογισμού κινδύνου. Ο θανατηφόρος καρκίνος είναι η κυρίαρχη μορφή καρκίνου σε έκθεση τέτοιου είδους ακτινοβολίας.

#### **Ακραίες καιρικές συνθήκες**

Στον Άρη σημειώνονται συχνά έντονες αμμοθύελες και καταιγίδες σκόνης. Οι αστροναύτες είναι πολύ πιθανόν να εμφανίσουν μεγάλη πτώση του ανοσοποιητικού τους και να εισχωρήσει σκόνη και άμμος στους πνεύμονες τους αλλά και μειωμένη

αντίσταση στην ακτινοβολία. Όσο ασφαλές κι αν είναι το περιβάλλον τους υπάρχει περίπτωση να φέρουν σε αυτό αρρειανά υλικά ακόμα και κολλημένα πάνω στις στολές τους. Τέλος οι έντονες διακυμάνσεις στην εναλλαγή θερμοκρασίας κάνει το έργο τους δυσκολότερο (Criswell, Race, Rummel, Baker, 2001).

### **Έλλειψη νερού**

Η ύπαρξη νερού στον Άρη υπάρχει υπό την μορφή πάγου κι αυτό μόνο στους πόλους όπως έχουν αποδείξει προηγούμενες ερευνητικές μετρήσεις. Συνεπώς λόγω της έλλειψης του θα πρέπει πρώτα να βρεθούν τρόποι εξαγωγής του αλλά και παραγωγής του από χημικές διεργασίες και αντιδράσεις (Criswell, Race, Rummel, Baker, 2001).

### **Βιολογικοί κίνδυνοι**

Προτού γίνει μια επανδρωμένη αποστολή στον Άρη θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν κίνδυνοι από μύκητες, βακτήρια, ιούς και μικροοργανισμούς οι οποίοι βρίσκονται στην επιφάνεια του πλανήτη αλλά και στην ατμόσφαιρα. Τα υπεροξειδία του εδάφους ερχόμενα σε επαφή με νερό κατά την μεταφορά τους σε εργαστήριο μπορεί να παράγουν επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία προϊόντα. Τέλος θα πρέπει να αποσαφηνιστεί πως η παρουσία μικροβιακών μορφών ζωής στο υπέδαφος του Άρη, δεν αποτελούν απειλή για την υγεία των αστροναυτών (Criswell, Race, Rummel, Baker, 2001).

### **Τοξικότητα του πλανήτη**

Η ατμόσφαιρα του Άρη αποτελείται κατά κύριο λόγο από διοξείδιο του άνθρακα το οποίο είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία και επιδρά αρνητικά στο αναπνευστικό, νευρικό και ενδοκρινολογικό σύστημα, στην καρδιά, στα νεφρά, το συκώτι και τα αναπαραγωγικά όργανα (Guaist & Brandt, 2011). Οι αστροναύτες θα πρέπει να έχουν αρκετές ποσότητες οξυγόνου το οποίο μπορεί να προκύψει από χημικές διεργασίες και μεθόδους μετατροπής της ατμόσφαιρας αστροναυτών (Criswell, Race, Rummel, Baker, 2001).

### **Πιθανή χρονική διαδικασία αποστολής επανδρωμένης αποστολής**

Σύμφωνα με την NASA η χρονική διάρκεια που προβλέπεται για μια ανθρώπινη αποστολή είναι τα 25 χρόνια με την προϋπόθεση να καταφέρουν οι επιστήμονες να κατασκευάσουν τεχνολογικά μέσα που θα καταφέρουν να προστατέψουν τους

αστροναύτες από την θανατηφόρα ακτινοβολία αλλά και συνθήκες που μπορεί να προκαλέσουν τύφλωση και να καταστρέψουν τα κόκαλα. Επίσης σημαντικό παράγοντα αποτελεί η κατασκευή ενός διαστημόπλοιου που θα μπορέσει να εκτοξευτεί και να προσεδαφιστεί με ασφάλεια μεταφέροντας το πλήρωμα.

Σύμφωνα με τον επικεφαλής της NASA Jim Green η πρώτη απόπειρα επανδρωμένης αποστολής εκτιμάται γύρω στο 2040 αν και εφόσον η τεχνολογία καταφέρει να προστατεύσει το πλήρωμα της από ακραίες καιρικές συνθήκες, αμμοθύελλες και άγνωστες πιθανότητες πετυχημένης καλλιέργειας φυτωρίων και ανάπτυξης υποδομών (NASA, 2018).

#### 4.1 Η γαιοπλασία του Άρη

Γαιοπλασία ή γαιοποίηση (terraforming) ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία ο άνθρωπος με τεχνητούς τρόπους είναι σε θέση να μετατρέψει περιβάλλοντα που βρίσκονται σε πλανητική κλίμακα και να τα προσαρμόσει στο γήινο περιβάλλον με σκοπό τον εποικισμό τους. Ο όρος terraforming συναντάται για πρώτη φορά σε δυο έργα του Jack Williamson με τίτλο Seetee Shock (1949) και Seetee Ship (1951) (McKay, 1982).

Η επιθυμία της ανθρωπότητας να εξερευνήσει το ηλιακό σύστημα με διαστημικά σκάφη σε συνδυασμό με την εξέλιξη πάνω στην επιστήμη της μηχανικής και πλανητικής οδήγησαν σε μια καλύτερη κατανόηση για τον τρόπο λειτουργίας των πλανητών. Η γαιοπλασία μπορεί πλέον να προσεγγιστεί και με επιστημονική γνώση.

Η γαιοπλασία ενός πλανήτη για να επιτευχθεί πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- I. Τη μεταβολή του κλίματος και της ατμόσφαιρας, η οποία πρέπει να περιέχει συστατικά σε ποιότητα και ποσότητα παρόμοια με εκείνα της ατμόσφαιρας της Γης. Πίεση, θερμοκρασία και βαρύτητα πρέπει να προσεγγίζουν τις αντίστοιχες γήινες τιμές.
- II. Τη μεταβολή του εδάφους (αποκατάστασης θερμοκρασίας, ανεύρεσης νερού, ανάπτυξης καλλιεργειών κ.τ.λ.)

- III. Τη δημιουργία (αν δεν υφίσταται) ή την αποκατάσταση μαγνητόσφαιρας, ώστε να μειωθεί η έκθεση σε κοσμική ακτινοβολία και ριπών από ταχέως κινούμενα φορτισμένα σωματίδια (McKay, 1982).

#### 4.2 Οι ανάγκες εποίκισμou σε άλλους πλανήτες

Καθώς οι ανάγκες του πληθυσμού ολοένα και αυξάνονται και αν και ο πλανήτης φαίνεται να εξυπηρετεί τις ανάγκες του στο εγγύς μέλλον πολύ πιθανόν να μην βρίσκεται στη θέση να καλύψει την αύξηση του πληθυσμού και τις ανάγκες του. Αν η ανθρωπότητα δεν καταφέρει να αποικίσει σε άλλο πλανήτη θα βρεθεί σε έναν πλανήτη με ελάχιστους πόρους για να κρατήσει ζωή (Hossain, Khea, Shoneck, 2015).

Όπως συμβαίνει και σήμερα η ανθρωπότητα βρίσκεται εκτεθειμένη σε μια πανδημία η οποία μπορεί να είναι μόνο η αρχή και ο πληθυσμός να βρεθεί μπροστά σε έναν πιο μολυσματικό ιό ο οποίος να φανεί μοιραίος για το μέλλον της ανθρωπότητας. Το παρελθόν και το παρόν αποδεικνύουν ότι τα εθνικά και γεωλογικά σύνορα δεν θα σταματήσουν την εξάπλωση μιας πανδημίας και ότι η πιθανή απομόνωση που απομένει ως βολική λύση δε θα είναι επαρκής, αφού οι τάσεις των ανθρώπων να ταξιδεύουν σε διεθνές επίπεδο συνεχίζουν να αυξάνονται.

Άλλος ένας παράγοντας που εντείνει την αναγκαιότητα εποίκισμou σε άλλο πλανήτη είναι η πτώση αστεροειδών στον πλανήτη Γη. Στο παρελθόν πολλά είδη εξαφανίστηκαν από πτώση αστεροειδών ή κομητών και η ανθρωπότητα φαίνεται να είναι πραγματικά ανήμπορη στο να σταματήσει ένα τέτοιο φαινόμενο που θα μπορούσε ακόμα και να εξαφανίσει όλη την ανθρώπινη παρουσία. Ακόμα κι αυτές οι μέθοδοι που θα μπορούσαν να σταματήσουν μια πιθανή πτώση έχουν μεγάλο ποσοστό να αποτύχουν.

Τέλος υπάρχει και η περίπτωση οι ίδιοι οι άνθρωποι να καταστρέψουν το σπίτι τους, την Γη μέσα από τις διαμάχες των εθνών στα χέρια των οποίων δίνονται πυρηνικά όπλα. Η επικείμενη πρόκληση ενός θερμοπυρηνικού πολέμου θα μπορούσε να ξεκινήσει μια πορεία προς το τέλος του κόσμου (Hossain, Khea, Shoneck, 2015).

Ωστόσο, όλες αυτές οι θεωρίες καταστροφής θα μπορούσαν να αποφευχθούν εάν η ανθρώπινη ζωή δεν ήταν συνδεδεμένη με έναν μόνο πλανήτη. Μέσα σε αυτό τον αιώνα, οι άνθρωποι φιλοδοξούν να αφήσουν τη Γη για να αποικίσουν άλλους πλανήτες. Μπορεί να προκύψουν σχεδιασμοί ακόμα και για την έξοδο από το ίδιο το

Ηλιακό Σύστημα. Ο εξωγήινος αποικισμός αναφέρεται στον στόχο του ανθρώπινου είδους να εξαπλωθεί σε τοποθεσίες πέρα από τη Γη και θα επέτρεπε στην ανθρωπότητα να επιβιώσει από σχεδόν κάθε πιθανή καταστροφή. Ακόμη και η πλήρης απώλεια της Γης δεν θα σήμανε το τέλος της ανθρώπινης φυλής, αφού η αποικιοποίηση πέρα από τη Γη θα επέτρεπε στην ανθρωπότητα να υπάρχει για πολύ καιρό ακόμα.

Τα οφέλη της αποικιοποίησης πέραν της εξασφάλισης επιβίωσης της ζωής δίνει την δυνατότητα στην ανθρωπότητα να μελετήσει το σύμπαν από διαφορετικές απόψεις. Με παρουσία ερευνητικών σταθμών σε άλλα μέρη του σύμπαντος θα μπορούσε να δημιουργηθεί καλύτερη απεικόνιση μακρινών ουράνιων σωμάτων τα οποία αποτελούν πρόκληση από τη Γη.

### **5.1 Το σχέδιο της γαιοπλασίας του Άρη με μετατροπή της ατμόσφαιρας**

Ένα από τα βασικά στοιχεία γαιοπλασίας ενός πλανήτη είναι η μετατροπή της ατμόσφαιρας του με φυσικό ή τεχνητό τρόπο. Στην περίπτωση του κόκκινου πλανήτη χρειάζεται αύξηση της πίεσης 160 φορές περισσότερο και παράλληλα ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 75 C. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει ταυτόχρονα. Μια σημαντική μετατροπή είναι απαραίτητη να συντελεστεί και στην σύσταση των αερίων της ατμόσφαιρας: τα επιθυμητά «όρια βιωσιμότητας» είναι 21% O<sub>2</sub>, 78% N<sub>2</sub>, 0,04% CO<sub>2</sub> (η αναλογία των αερίων της ατμόσφαιρας στην Γη) σε σύγκριση με την αντίστοιχη σύσταση των αερίων της ατμόσφαιρας του Άρη 0,13% O<sub>2</sub>, 2,7% N<sub>2</sub>, 78,08% CO<sub>2</sub> (McKay, Toon, Kasting, 2008).

Εξαιτίας της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας που συναντάται στην επιφάνεια του πλανήτη το νερό βρίσκεται μόνο υπό την μορφή πάγου. Επίσης η έλλειψη οζονόσφαιρας επιτρέπει την αρνητική επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Για την θέρμανση του πλανήτη προτάθηκαν αρκετοί τρόποι με αυτόν που επικρατεί περισσότερο να είναι η απελευθέρωση αερίων «θερμοκηπίου». Μερικοί από αυτούς ήταν η χρήση ηλιακών κατόπτρων σε τροχιά ώστε να εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένες περιοχές του Άρη και να τις θερμάνουν ταχύτατα, καθώς και η καθοδήγηση σε πορεία σύγκρουσης παγωμένων κομητών που θα προκαλούσε απελευθέρωση τεραστίων ποσών θερμότητας, σε πολύ μικρό χρονικό

διάστημα. Αυτές οι προτάσεις είναι εξαιρετικά σύνθετες προς υλοποίηση και πιο βιώσιμη λύση αποτέλεσε η εφαρμογή του τεχνητού φαινομένου θερμοκηπίου (McKay, Toon, Kasting, 2008).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα απόλυτα φυσικό και επιθυμητό-σε συγκεκριμένα όρια-φαινόμενο που έχει ως επίδραση την θέρμανση ενός πλανήτη, όπως ακριβώς συμβαίνει και στη Γη. Η αύξηση της θερμοκρασίας που θα επιτυγχάνονταν τροφοδοτώντας την αρειανή ατμόσφαιρα με αέρια θερμοκηπίου, θα προκαλούσε σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο εξάχνωση του CO<sub>2</sub> (που αποτελεί από μόνο του θερμοκηπικό αέριο το οποίο έχει δεσμευτεί σε γεωλογικούς σχηματισμούς υπό μορφή ξηρού πάγου στην επιφάνεια) και προσθήκη του στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα αύξηση της πίεσης του CO<sub>2</sub>, ενίσχυσης του θερμοκηπικού φαινομένου, αύξησης θερμοκρασίας και εξάχνωσης καινούριων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Με τον τρόπο αυτό ο κύκλος επαναλαμβάνεται και ο πλανήτης ολοένα θερμαίνεται. Σύμφωνα με την μελέτη του McKay και των συνεργατών του, το CO<sub>2</sub> του νοτίου πόλου του Άρη θα μπορούσε, με πιθανή εξάχνωσή του, να συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά μερικές δεκάδες βαθμούς Κελσίου. Με την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας επίσης ενδέχεται να υγροποιηθεί το νερό που βρίσκεται παγιδευμένο υπό μορφή πάγου σε χαμηλό βάθος από την επιφάνεια του Άρη, ενώ επιπλέον αύξηση θερμοκρασίας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να παραχθούν υδρατμοί και να ενισχύσουν και εκείνοι με τη σειρά τους το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού αυτοί αποτελούν επίσης θερμοκηπικό αέριο (McKay, Toon, Kasting, 2008).

Σύμφωνα με την Margarita Maganova η θέρμανση του πλανήτη θα μπορούσε να επιτευχθεί με την χρήση θερμοκηπικά αέρια όπως το εξαφθοριούχο αέριο και οι υπερφθοράνθρακες, ο τετραφθοράνθρακας και το εξαφθοροαιθάνιο. Τα αέρια αυτά εμφανίζονται με πολύ μεγάλο βαθμό απόδοσης όσον αφορά τη δράση τους ως αέρια θερμοκηπίου, με τα επιπρόσθετα πλεονεκτήματα της ευκολίας παραγωγής τους, ότι η σύνθεσή τους είναι εφικτή από τα συστατικά τους στοιχεία τα οποία ήδη υπάρχουν στον Άρη και φυσικά το ότι αποτελούν ενώσεις που δεν περιέχουν χλώριο ή βρώμιο και επομένως δεν έχουν καταστροφική δράση στο όζον και σε ενδεχόμενη ανάπτυξη ζωής (Maganova, 2000).

Άλλες αρχιτεκτονικές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξερεύνηση σε μακράς διάρκειας διαστημικές αποστολές στην Σελήνη και τον Άρη, είναι η χρήση αντιδραστήρων όπου με χημικές διαδικασίες πραγματοποιείται η υποστήριξη της ζωής με μεταβολή του αέρα. Έναν τέτοιο σχεδιασμό αποτελεί το Σύστημα Ανανέωσης Ατμόσφαιρας (Atmosphere Revitalization System-ARS) που χρησιμοποιείται από τη NASA. Η χρήση του CO<sub>2</sub> για την παραγωγή πολύτιμων στοιχείων και ενώσεων ώστε να υποστηριχθεί η ανθρώπινη ζωή, όπως το O<sub>2</sub> και το H<sub>2</sub>O, είναι η διαδικασία που ακολουθείται από το εν λόγω σύστημα για αποστολές όχι μόνο σε τροχιά γύρω από τη Γη, αλλά και σε απαιτητικότερες, πιο μακρινές αποστολές. Στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, το μεταβολικά παραγόμενο CO<sub>2</sub> απομακρύνεται από τον αέρα της καμπίνας και εξάγεται στο διάστημα, προκαλώντας μια συνεχόμενη απώλεια O<sub>2</sub>. Αυτό απαιτεί μια συνεχόμενη επανατροφοδότηση με O<sub>2</sub> μέσω ηλεκτρολυτικής διαδικασίας και κατάδειξης της ανάγκης για μεγαλύτερες χωρητικότητες αποθηκών νερού (Junaedi, Hawley, Walsh, Roychoudhury, 2011).

Για αποστολές μακράς διάρκειας, το ποσό των κρίσιμων συστατικών για τη ζωή (O<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O) είναι περιορισμένο και η επιλογή της επανατροφοδότησης είναι πρακτικά ανύπαρκτη, επομένως καθίσταται κρίσιμη η διαχείριση των πόρων της ατμόσφαιρας και η ανακύκλωσή τους. Συσκευές όπως η ARS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα για την επεξεργασία ατμόσφαιρας και την παραγωγή πολύτιμων στοιχείων και ενώσεων (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) με καταλυτικές διεργασίες μέσω των αντιδράσεων Bosch και Sabatier, οι οποίες θα εξεταστούν λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο. Εκτός από το πλεονέκτημα παροχής συστατικών απαραίτητων για την ανθρώπινη ζωή, τέτοιες χημικές διαδικασίες αποδίδουν ενέργεια μέσω θερμότητας, καθώς και καύσιμα, ενώ δυνητικά συμβάλουν μέσω των παραγώγων τους στην μείωση της ανακλαστικότητας του ηλιακού φωτός από την επιφάνεια και τη δέσμευσή του στο έδαφος, προκαλώντας έτσι τη θέρμανσή του.

## 6.1 Η αντίδραση Bosch

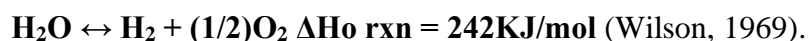
Η αντίδραση Bosch, που πήρε το όνομά της από τον διάσημο Γερμανό νομπελίστα χημικό Carl Bosch, είναι η καταλυτική χημική αντίδραση που πραγματοποιείται με διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) το οποίο ανάγεται από αέριο υδρογόνο (H<sub>2</sub>) προς στοιχειακό άνθρακα (C) υπό μορφή γραφίτη και υδρατμούς, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:





Η αντίδραση (I) είναι το τελικό αποτέλεσμα των εξής ενδιάμεσων καταλυτικών αντιδράσεων: α) της αντίστροφης μετατροπής ύδατος αερίου (Reverse Water-Gas Shift Reaction-RWGSR), β) της υδρογόνωσης του παραγόμενου μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και τέλος γ) της αντίδρασης Boudouard.

Η αντίδραση (1) γνωστή ως αντίστροφη αντίδραση μετατροπής ύδατος-αερίου (Reverse Water-Gas Shift Reaction-RWGSR) είναι το ταχύτερο στάδιο της διεργασίας και το 2ο στάδιο (αντίδραση (2)), είναι εκείνη που καθορίζει το ρυθμό μετατροπής. Η διαδικασία εκκινεί με την αντίδραση (1), κατά την αναγωγή του CO<sub>2</sub> σε CO. Οι αντιδράσεις (2) και (3) συμβάλουν περαιτέρω στην αναγωγή του CO σε στερεό άνθρακα. Μαζί με την αναγωγή του αρχικού CO<sub>2</sub> επιτυγχάνεται η παραγωγή νερού στα στάδια (1) και (2). Για να επιτευχθεί σύστημα κλειστού κύκλου και να ανατροφοδοτηθεί η διαδικασία με H<sub>2</sub>, το παραγόμενο νερό ηλεκτρολύεται παράγοντας O<sub>2</sub> σύμφωνα με την αντίδραση:



Η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω διερευνάται διεξοδικά στη NASA σαν κλειστή διαδικασία υποστήριξης ζωής για επανδρωμένες αποστολές μακράς διάρκειας (32). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει η αντίδραση Bosch, είναι ότι όλο το H<sub>2</sub> που έχει καταναλωθεί προκειμένου να τροφοδοτηθεί η διαδικασία μπορεί να ανακτηθεί πλήρως κατά το στάδιο ηλεκτρόλυσης του παραγόμενου νερού, συνεπώς δεν έχουμε ουσιαστικά απώλειες υδρογόνου. Ως μειονέκτημα παρουσιάζεται η δημιουργία στερεού άνθρακα, ο οποίος δύναται να απενεργοποιήσει τους στερεούς καταλύτες που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία, προκαλώντας την δηλητηρίασή τους και τη διακοπή τροφοδοσίας του αντιδραστήρα που προκαλείται από την συσσώρευση του σωματιδιακού άνθρακα. Ένα άλλο πρόβλημα είναι οι σχετικά αργοί ρυθμοί αναγωγής του CO<sub>2</sub> (Wilson, 1969).

### **Καταλύτες της μεθόδου Bosch**

Οι καταλύτες είναι κρίσιμοι για τη διαδικασία επιτάχυνσης της αντίδρασης Bosch, λόγω της εγγενούς αργής κινητικής της. Ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο αποτελούν όπως έχει προαναφερθεί, τα μέταλλα που καταλύουν την αντίδραση Bosch. Οι μικρές προσθήκες ρουθηνίου βελτιώνουν σημαντικά την κινητική. Ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος καταλύτης είναι ο σίδηρος σε μορφή πλεγμένων νημάτων έτσι ώστε να αποκτά σπογγώδη υφή, (iron wool) λόγω της σχετικά υψηλής δραστηκτικής του επιφάνειας. Άλλες μορφές σιδήρου που χρησιμοποιούνται είναι σκόνη σιδήρου καθώς και μαλακός χάλυβας υπό μορφή πλακών ή σωλήνων. Ο σίδηρος σε

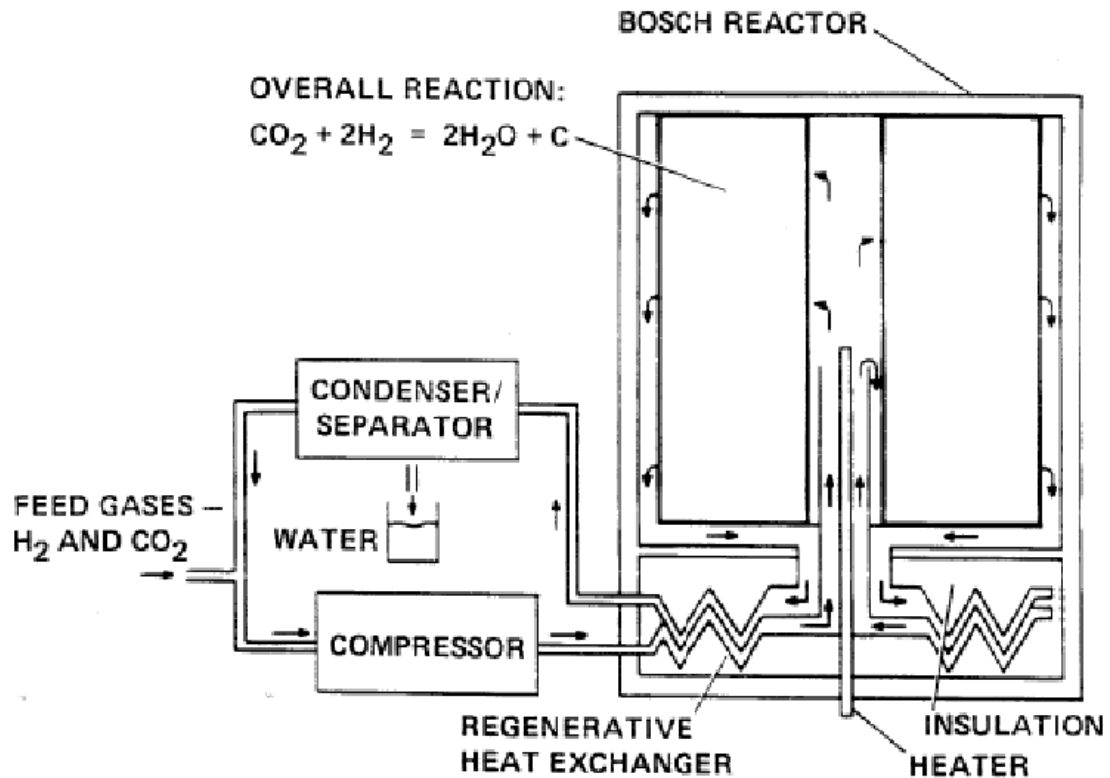
σπογγώδη μορφή (steel wool) είναι μία από τις ιδανικές επιλογές. Κατά την εξέλιξη της αντίδρασης, ο σίδηρος διαχέεται πάνω στο παραγόμενο άνθρακα, χωρίς όμως να χάνει τις καταλυτικές του ιδιότητες. Η ένωση του καταλύτη με τον παραγόμενο άνθρακα θα πρέπει να αποφεύγεται, εξαιτίας πιθανής συσσωμάτωσης. Σημαντικές επιφανειακές αντιδράσεις περιλαμβάνουν το σχηματισμό ενδιάμεσων καρβιδίων καθώς και οξειδίων που καταστρέφουν την καταλυτική δραστηριότητα. Τυπικές θερμοκρασίες αντίδρασης κυμαίνονται από 530 έως 730°C. Ακόμη και σε αυτές τις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, η απόδοση της αναγωγής είναι τυπικά κάτω από 10%, επομένως οι πρακτικοί σχεδιασμοί αντιδραστήρων απαιτούν λειτουργία ανακύκλωσης (Holmes, Keller, King, 1970).

### **Τρόπος λειτουργίας του αντιδραστήρα Bosch**

Αρχικά ένα μείγμα CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub> συμπιέζεται και στη συνέχεια θερμαίνεται μέσα στον αντιδραστήρα Bosch. Στη συνέχεια τα καυσαέρια διέρχονται δια μέσω ενός συμπτυκνωτή, όπου οι υδρατμοί διαχωρίζονται από τα εναπομένοντα αέρια. Από μια απλή διέλευση μέσω του αντιδραστήρα, ανάγεται μόνο περίπου το 10% του CO<sub>2</sub>.

Τα καυσαέρια τροφοδοτούνται σε έναν βρόχο ανακύκλωσης, ο οποίος συνδέει την έξοδο του συμπτυκνωτή με την είσοδο του συμπιεστή. Ο αντιδραστήρας Bosch κλείνει τον αναγεννητικό βρόχο O<sub>2</sub> μεταξύ της αναγωγής του CO<sub>2</sub> και της ηλεκτρόλυσης του νερού. Είναι σε θέση να το πράξει ανεξάρτητα από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και χωρίς την παραγωγή παραπροϊόντων όπως το CH<sub>4</sub>.

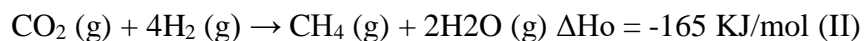
Σε σύγκριση με ένα συνδυασμό ενός αντιδραστήρα Sabatier και ενός συστατικού σχηματισμού άνθρακα έχει μικρότερη μάζα, αφού δεν χρειάζεται περαιτέρω αναγωγή του CH<sub>4</sub>. Ωστόσο, έχει μικρότερη απόδοση μετατροπής με ένα πέρασμα και λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που αυξάνει το φορτίο στο στοιχείο θερμικού ελέγχου. Εκτός αυτού, οι μη αναγεννητικές καταλυτικές κλίνες είναι μειονεκτικές, δεδομένου ότι προκαλούν πρόσθετη μάζα επαναπλήρωσης και ανάγκες συντήρησης (Nathanson,2011).



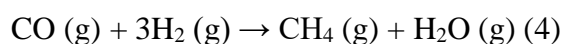
Εικόνα 5: Τυπικό σχέδιο αντιδραστήρα Bosch (Environmental Control and Life Support Systems for Human Exploration Missions to Near-Earth Asteroids)

## 7.1 Η αντίδραση Sabatier

Η αντίδραση Sabatier αποτελεί άλλη μια αντίδραση αναγωγής του διοξειδίου του άνθρακα μέσω υδρογόνου, με παραγωγή μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και υδρατμών σύμφωνα με την γενική εξίσωση:



Ανακαλύφθηκε από τον επίσης νομπελίστα Χημείας Γάλλο χημικό Paul Sabatier το 1897. Η αντίδραση είναι εξώθερμη και πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες 300-400o C με πίεση και παρουσία καταλυτών νικελίου (Ni). Άλλος καταλύτης που επιταχύνει την διαδικασία είναι το ρουθίνιο (Ru) σε φορέα αλουμίνας (30). Ομοίως, ίχνη από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) μπορούν να αντιδράσουν με υδρογόνο  $\text{H}_2$  και να παραχθούν νέες ποσότητες  $\text{CH}_4$  και υδρατμών όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:



Επίσης είναι τυπικά παρούσα μια ανταγωνιστική αντίστροφη αντίδραση ύδατος-αερίου (RWGS):  $\text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{CO} (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{g})$  (5)

Επιπρόσθετα υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να προκύψει η αντίδραση Bosch (I) που όπως αναφέραμε ανάγει το  $\text{CO}_2$  μέσω  $\text{H}_2$  προς σχηματισμού στερεού C και  $\text{H}_2\text{O}$  υπό μορφή υδρατμών. Οι αντιδράσεις (I) και (5) μειώνουν την εκλεκτικότητα προς σχηματισμό μεθανίου. Επιπρόσθετα η διαδικασία Bosch είναι ανεπιθύμητη στη συγκεκριμένη περίπτωση, διότι ο σχηματισμός του στερεού άνθρακα έχει ως συνέπεια την εναπόθεσή του στην στερεή επιφάνεια του καταλύτη, μειώνοντας την δραστηριότητά του και ταυτόχρονα αυξάνει την πτώση πίεσης του συστήματος. Η αντίδραση Sabatier παράγει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από την Bosch και περιορίζεται από την θερμοδυναμική ισορροπία. Χαμηλότερες θερμοκρασίες (γύρω στους 250-300ο C) είναι επιθυμητές για μεγαλύτερη μετατροπή του  $\text{CO}_2$  και μεγαλύτερη εκλεκτικότητα σε  $\text{CH}_4$  (Junaedi, Hawley, Walsh, Roychoudhury, 2011).

### **Καταλύτες της μεθόδου Sabatier**

Μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή, έχουν πραγματοποιηθεί εκτεταμένες έρευνες και μελέτες για την επιλογή και αξιολόγηση των καταλυτών της διαδικασίας Sabatier. Τα αποτελέσματα αυτών δείχνουν ότι οι καταλύτες που ενδείκνυνται είναι το Ni, το Ru, καθώς και το Rh. Το Ni είναι ο τυπικός καταλύτης που χρησιμοποιείται στην διαδικασία, με το Ru να έχει διαπιστωθεί ότι είναι ο πιο δραστήριος καταλύτης, με την μεγαλύτερη εκλεκτικότητα σε  $\text{CH}_4$ . Αξίζει εξάλλου να αναφερθεί ότι ερευνητές στο Pacific Northwest National Lab σχεδίασαν και εφάρμοσαν καταλυτικούς αντιδραστήρες μικροκαναλιών για την συγκεκριμένη διαδικασία και κατέληξαν σε βελτιωμένη μετατροπή  $\text{CO}_2$  και παραγωγή θερμότητας αλλά και μεταφοράς μάζας σε σχέση με τους παραδοσιακούς αντιδραστήρες κλίνης τεμαχιδίων, όπου και εξετάστηκαν οι προαναφερόμενοι μεταλλικοί καταλύτες (Junaedi, Hawley, Walsh, Roychoudhury, 2011).

### **Παραγωγή νερού**

Το νερό που παράγεται από την διαδικασία Sabatier, μπορεί να συλλεχθεί με τη διαδικασία της συμπύκνωσης ή με την μέθοδο της προσροφήσεως και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει ή δύναται να ηλεκτρολυθεί περαιτέρω με χρήση ηλιακής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία για να σχηματιστεί  $\text{O}_2$  και  $\text{H}_2$ . Το  $\text{H}_2$  που

παράγεται μπορεί να ανακυκλωθεί, ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί και να αναχθεί περισσότερο CO<sub>2</sub>. Το CH<sub>4</sub> εξάλλου που εκλύεται, μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως προωθητικό μέσο κινητήρων ενός διαστημικού σκάφους ή να εισέλθει σε αντιδραστήρα πυρόλυσης, ώστε να ανακτηθεί H<sub>2</sub> ανάλογα με τις εφαρμογές που απαιτείται (Junaedi, Hawley, Walsh, Roychoudhury, 2011).

### **Ο αντιδραστήρας Sabatier**

Όπως και στη διαδικασία Bosch το CO<sub>2</sub> ανάγεται καταλυτικά σε νερό. Η εξώθερμη αντίδραση καταναλώνει επίσης H<sub>2</sub>. Αντίθετα, η αντίδραση Sabatier λαμβάνει χώρα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (450 έως 800o K), και το παραπροϊόν είναι CH<sub>4</sub> αντί του C. Ο υδρατμός διαχωρίζεται επίσης από τα εναπομένοντα καυσαέρια εντός ενός συμπυκνωτή (Nathanson, 2011).

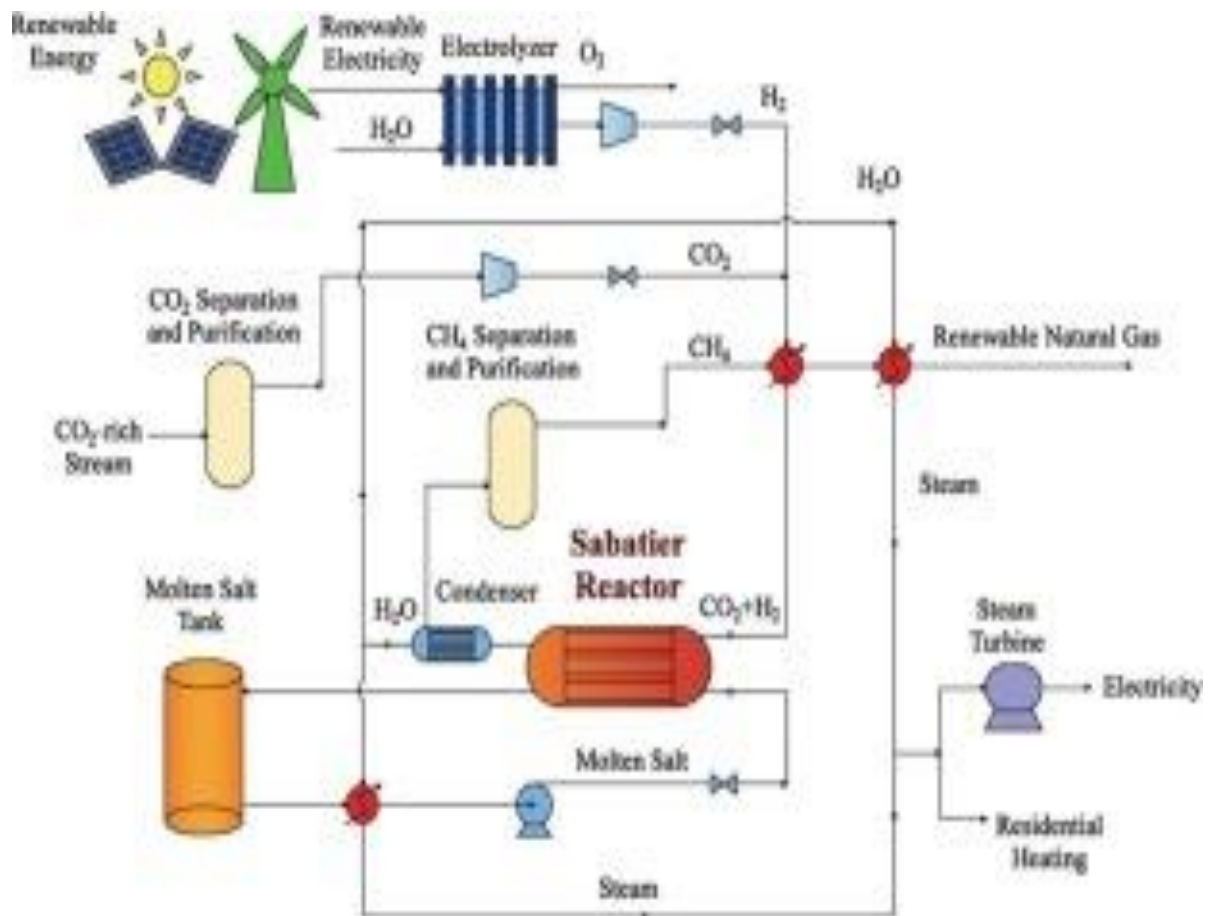
Δεδομένου ότι η τεχνολογία Sabatier έχει μελετηθεί και αναπτυχθεί εκτεταμένα, είναι υποψήφια για μελλοντικά συστήματα ανάκτησης της ατμόσφαιρας. Σε σύγκριση με τον αντιδραστήρα Bosch, ο αντιδραστήρας Sabatier είναι μικρότερος και αποτελεσματικότερος. Η αντίδραση Sabatier είναι αυτοσυντηρούμενη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερα φορτία ισχύος και θερμότητας. Το κύριο μειονέκτημα είναι η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας και αποθήκευσης του παραγόμενου CH<sub>4</sub>. Η απόρριψη του CH<sub>4</sub> στο εξωτερικό περιβάλλον, θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της επανατροφοδότησης του νερού είτε του H<sub>2</sub>. Ο αντιδραστήρας Sabatier επιτρέπει την υψηλή μεταβλητότητα του λόγου CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub> της παροχής τροφοδοτούμενων αερίων. Όπως επίσης αναφέρθηκε, το CH<sub>4</sub> θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από προωθητήρες ψυχρού αερίου καθώς και από ηλεκτρικούς προωθητικούς κινητήρες.

Ο αντιδραστήρας Sabatier μπορεί να χρησιμοποιήσει την ανανεώσιμη ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο και τον Ήλιο, ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια που δύναται να τροφοδοτήσει ηλεκτρολυτική συσκευή για την παραγωγή υδρογόνου. Το υδρογόνο στη συνέχεια μετέχει ως αναγωγικό μέσο στην αντίδραση Sabatier για παραγωγή μεθανίου. Σε αντίθεση με την άμεση χρήση υδρογόνου για εφαρμογές μεταφοράς ή αποθήκευσης ενέργειας, το μεθάνιο μπορεί να αποθηκευτεί ή να βρει εφαρμογή ως καύσιμο με τη μορφή φυσικού αερίου (Sun & Simakov, 2017).

Επίσης, το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη ζήτηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (και συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας) που υπερβαίνει τα χαμηλά επίπεδα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Επιπλέον οι παραγόμενοι ατμοί από την αντίδραση Sabatier, θα μπορούσαν να τροφοδοτήσουν έναν ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και θέρμανσης.

Το ψυκτικό μέσο της διαδικασίας Sabatier αποτελεί όχι πλέον το νερό (γεγονός πολύ χρήσιμο σε περιβάλλοντα διαστήματος όπου υπάρχει έλλειψη νερού) αλλά «τηγμένο άλας» (molten salt) το οποίο παρέχεται στον αντιδραστήρα από εξωτερική δεξαμενή. Αυτό το είδος του ψυκτικού μέσου θα χρησιμοποιείται στα πυρηνικά εργοστάσια 4ης γενιάς.

Η διάταξη που περιεγράφηκε παραπάνω αποτελεί ένα σύστημα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και έχει παρόμοιες αποδόσεις με τα τυπικά σημερινά ενεργειακά συστήματα (Sun & Simakov, 2017).



Εικόνα 6: Εφαρμογές της διαδικασίας Sabatier (Thermal management of a Sabatier reactor for CO<sub>2</sub> conversion into CH<sub>4</sub>: Simulation-based analysis)

## 8.1 Τα πρώτα βήματα της γαιοπλασίας

Η προσπάθεια δημιουργίας αποικίας στον Άρη αποτελεί ένα πολύ δύσκολο έργο που απαιτεί πολλές τεχνολογικές προκλήσεις αλλά και τεράστια χρηματικά ποσά. Ωστόσο τα πρώτα βήματα για να ακολουθήσει μια τέτοια διαδικασία είναι τα εξής:

1. Να καταφέρει να ανέβει η θερμοκρασία του πλανήτη από τους 215 βαθμούς κελσίου στους 250.
2. Να αυξηθεί η ατμοσφαιρική πίεση με την παροχή 240 mbar αναπνεύσιμου οξυγόνου.
3. Να παραχθεί ικανοποιητική ποσότητα πόσιμου νερού και να δημιουργηθούν υδάτινοι σχηματισμοί όπως θάλασσες, λίμνες και ωκεανοί.

Το βασικό στοιχείο που επικρατεί στον Άρη είναι το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο πρέπει να αντικατασταθεί από οξυγόνο και να σταματήσει να παράγει τοξικές ενώσεις. Ακόμα απαιτείται αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης και στη συνέχεια μετατροπή της ατμόσφαιρας ώστε να γίνει ίδια με της Γης. Για να αλλάξει η αρραιανή ατμόσφαιρα και να μοιάζει περισσότερο με εκείνη της Γης πρέπει να αυξηθεί το  $O_2$  και το  $N_2$  με αναλογία 1:4. Επίσης πρέπει να μετατραπεί σχεδόν όλο το  $CO_2$ . Ο εμπλουτισμός με  $O_3$  παρόμοιος με αυτόν της γήινης ατμόσφαιρας θα έδινε την ευκαιρία στους ανθρώπους να περπατήσουν στον κόκκινο πλανήτη χωρίς ειδικό εξοπλισμό οξυγόνου (Birch,1992).

## 8.2 Θέρμανση του πλανήτη

Η θέρμανση του Άρη αποτελεί την βασική προϋπόθεση για να συνεχιστεί το σχέδιο της γαιοπλασίας. Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες είναι απαγορευτικές τόσο για την διαμονή στον πλανήτη όσο και για την μορφή του νερού το οποίο κάτω υπό αυτές τις συνθήκες παραμένει ως πάγος στο υπέδαφος των πόλων της επιφάνειας.

Η θέρμανση του πλανήτη μπορεί να επιτευχθεί είτε με την μετατροπή της ατμόσφαιρας ή του κλίματος είτε με την αύξηση της ηλιοφάνειας από το διάστημα (Birch,1992).

Ένας τρόπος θέρμανσης του πλανήτη θα μπορούσε να επιτευχθεί υπό την κατασκευή θολωτών αποικιών τύπου θερμοκηπίου που θα μπορούσαν να επεκταθούν σε όλο τον

πλανήτη. Αν το φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να δημιουργηθεί σε ευρεία κλίμακα και να διατηρηθεί με την τροφοδοσία θερμοκηπικών αερίων, τότε ο πλανήτης ως σύνολο θα μπορούσε να θερμανθεί.

Η μέθοδος μεταβολής της θερμοκρασίας μέσω ανακλαστικότητας του φωτός στην επιφάνεια, την σύγκρουση παγωμένων αστεροειδών ή την εξάπλωση θερμοκηπικών παραγόντων μοιάζουν να είναι ανεπαρκείς, δαπανηρές και αβέβαιες.

Αφού η φυσική ηλιοφάνεια του Άρη κυμαίνεται στα επίπεδα του 43% από εκείνα της Γης, τίθεται υπό αμφισβήτηση η σκοπιμότητα μιας σταθερής πλανητικής γαιοπλασίας. Αν και ένας «ανεκτός ως προς τη ζωή» Άρης πιθανόν να μπορέσει να αποφύγει τους παγετώνες, είναι αμφίβολο αν πλήρως γήινες συνθήκες θα μπορούσαν να επιτευχθούν χωρίς εξωτερική παρέμβαση. Ένας τρόπος λοιπόν είναι η ανάπτυξη κατόπτρων ικανών να επιφέρουν σχετικά φθηνά κλιματικό έλεγχο από το διάστημα.

### **8.2.1 Θέρμανση πλανήτη μέσω κατόπτρων**

Μια ιδιαίτερα γνωστή θεωρία για της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας και της αξιοποίησης του φαινομένου του θερμοκηπίου θα ήταν η χρήση τροχιακών κατόπτρων για την αντανάκλαση της ηλιακής ενέργειας μέχρι την επιφάνεια του πλανήτη. Η θέρμανση και η ανύψωση της θερμοκρασίας κατά μερικούς βαθμούς Κελσίου σε μία συγκεκριμένη περιοχή, θα μπορούσε να απελευθερώσει το CO<sub>2</sub> που είναι παγιδευμένο στο υπέδαφος, καθώς και το CO<sub>2</sub> που έχει παγιδευτεί στους πόλους, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά και στην αύξηση της ατμοσφαιρικής πυκνότητας. Βασιζόμενοι στην συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία σε μια συγκεκριμένη περιοχή της επιφάνειας του Άρη κοντά στους πόλους, στους 150° K.

Ένα κάτοπτρο σε τροχιά γύρω από τον Άρη διαμέτρου 125 Km θα μπορούσε να ανυψώσει τη θερμοκρασία στη συγκεκριμένη αυτή περιοχή κατά 5ο K. Ωστόσο, το υλικό του περιβλήματος είναι αλουμίνιο με πυκνότητα 4 tn/Km<sup>2</sup>, τότε το κάτοπτρο θα έπρεπε να είχε μάζα περίπου 200.000 tn, υπερβολική για να μεταφερθεί από τη Γη, για αυτό και εξετάστηκαν οι επιλογές να κατασκευαστεί σε διαστημικές βάσεις ή με υλικά σε κάποιους από τους δορυφόρους του Άρη (Zubrin, R. M. McKay, 1993).



### 8.2.2 Θέρμανση του Άρη με χρήση δραστικών θερμοκηπικών αερίων

Τα αέρια θερμοκηπίου είναι διαπερατά στο ορατό φως. Το ηλιακό φως περνά ουσιαστικά ανεμπόδιστα από την ατμόσφαιρα και απορροφάται από το έδαφος, το οποίο στη συνέχεια θερμαίνεται. Το θερμό έδαφος ακτινοβολεί στο φάσμα των υπερύθρων (IR). Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι πολύ αποτελεσματικά στην απορρόφηση του φωτός στο IR, επομένως το εμποδίζουν να διαφύγει στο διάστημα και με τον τρόπο αυτό θερμαίνουν την ατμόσφαιρα, η οποία στη συνέχεια θερμαίνει το έδαφος (Maganova, 2000).

Τα αέρια θερμοκηπίου μπορούν να θεωρηθούν ως μια «κουβέρτα» γύρω από τον πλανήτη: όσο πιο παχιά η κουβέρτα τόσο πιο ζεστή είναι η επιφάνεια. Η αποτελεσματικότητα ενός αερίου θερμοκηπίου εξαρτάται τόσο από το τμήμα της ενέργειας IR που απορροφά για μια συγκεκριμένη ποσότητα αερίου σε ένα καθορισμένο μήκος κύματος, όσο και από το σημείο τοποθέτησης των ζωνών απορρόφησης στο φάσμα IR. Κάθε αντικείμενο ακτινοβολεί σε διάφορα μήκη κύματος ανάλογα με τη θερμοκρασία του. Η τοποθέτηση των ζωνών απορρόφησης είναι ζωτικής σημασίας: εάν τοποθετηθούν εκεί όπου το σώμα εκπέμπει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του, τότε το αέριο θα έχει πολύ ισχυρό αποτέλεσμα θέρμανσης. Αν οι ζώνες τοποθετηθούν στα περιχώρα της καμπύλης, το αέριο δεν θα είναι εξίσου αποτελεσματικό (Maganova, 2000).

### 8.2.3 Εγκατάσταση πρότυπου συστήματος επεξεργασίας της αρειανής ατμόσφαιρας

Στον κόκκινο πλανήτη υπάρχει δυνατότητα να εγκατασταθεί ένα σύστημα επεξεργασίας της ατμόσφαιρας του Άρη το οποίο θα συμβάλει στην μετατροπή (αναγωγή) του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>, έτσι ώστε με την πάροδο επαρκούς χρονικού διαστήματος τα επίπεδά του να μειωθούν σημαντικά και να προσεγγίσουν εκείνα που επικρατούν στην ατμόσφαιρα της Γης.

Η λύση που προτείνεται για το σκοπό αυτό είναι η εγκατάσταση ενός συνδυασμού αντιδραστών Bosch και Sabatier με τους οποίους θα εξασφαλίζεται (εκτός της υποστήριξης της ανθρώπινης ζωής από την αναγωγή του μεταβολικού CO<sub>2</sub> στο εσωτερικό της αποικίας και της παραγωγής νερού και θερμότητας) και της μετατροπής του CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον με την σταδιακή μείωση της περιεκτικότητάς

του. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από το συνδυασμό των δύο αυτών διεργασιών είναι (Jones, Hodgson, Kliss, 2016) :

1. Αυξημένος βαθμός μετατροπής του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>. Αυτό θα έχει ως συνέπεια την γρηγορότερη αποκατάσταση βιώσιμων συνθηκών όσον αφορά την σύσταση του αέρα.
2. Κοινή και αυξημένη παραγωγή νερού. Και από τις δύο διεργασίες παράγεται νερό υπό μορφή υδρατμών, το οποίο μπορεί να συμπυκνωθεί και αφού πραγματοποιηθεί καθαρισμός του, να χρησιμοποιηθεί για πόση. Μέρος της συνδυασμένης ποσότητας νερού δύναται να ηλεκτρολυθεί και να παραχθεί αυξημένη ποσότητα H<sub>2</sub> που θα μπορούσε να ανατροφοδοτήσει τις δύο διεργασίες, καθώς και επιπλέον O<sub>2</sub>, από εκείνο που θεωρητικά θα παραγόταν αν χρησιμοποιούνταν μία μόνο εκ των δύο διαδικασιών.
3. Συνδυασμένη ποσότητα εκλυόμενης θερμότητας. Ως γνωστόν, αν θεωρητικά εισαγόταν στους αντιδραστήρες από 1 mol CO<sub>2</sub>, τότε από τη μεν διαδικασία Bosch από την στοιχειομετρία της αντίδρασης θα λαμβάναμε 90 KJ θερμότητας, ενώ από την Sabatier 165 KJ, οπότε θα είχαμε σύνολο 255 KJ θερμότητας. Η συνδυασμένη αυτή θερμότητα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη θερμικών αναγκών της αποικίας.
4. Δυνατότητα χρήσης κοινών καταλυτών. Όπως αναφέραμε στο 2ο Κεφάλαιο, οι δύο διεργασίες μπορούν να καταλύονται αποτελεσματικά από κοινούς καταλύτες, όπως το Ni και το Ru. Συνεπώς για εξοικονόμηση πόρων, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αυτά τα είδη καταλυτών και για τις δύο αντιδράσεις.
5. Παραγωγή CH<sub>4</sub>. Το CH<sub>4</sub> που παράγεται από την αντίδραση Sabatier μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε προωθητικούς κινητήρες ή και θα μπορούσε να αποτελέσει πρώτη ύλη για την παραγωγή του λεγόμενου αερίου σύνθεσης (CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>), μέσω του οποίου δύναται να ληφθούν άλλα χρήσιμα προϊόντα. Η διαδικασία παραγωγής αερίου σύνθεσης ευνοείται μέσω της «ξηρής αναμόρφωσης», δηλαδή της αναμόρφωσης του CH<sub>4</sub> με το διαθέσιμο CO<sub>2</sub> παρουσία καταλυτών, σύμφωνα με την αντίδραση:
6.  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{CO}$
7. Παραγωγή στοιχειακού άνθρακα. Κατά τη διεργασία Bosch ως γνωστό λαμβάνεται στοιχειακός άνθρακας υπό μορφή γραφίτη. Ο άνθρακας αυτός

μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος ώστε να μειωθεί η ανακλαστικότητα του ηλιακού φωτός με άμεση συνέπεια τη θέρμανσή του. Όμως υπάρχει και το μειονέκτημα της εναπόθεσής του στην επιφάνεια του καταλύτη και της απενεργοποίησής του, οπότε είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν μέθοδοι ώστε να επιβραδυνθεί ή και να αποτραπεί το φαινόμενο αυτό.

Δύο σημαντικά προβλήματα ανακύπτουν για τον αποτελεσματικό συνδυασμό των δύο διεργασιών: το πρώτο έχει να κάνει με την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών, ιδιαίτερα για την διαδικασία Bosch και το άλλο εστιάζεται στην έλλειψη του αντιδρώντος  $H_2$ , μιας και το αέριο αυτό δεν υπάρχει άμεσα διαθέσιμο στον πλανήτη Άρη. Το πρώτο πρόβλημα ενδεχομένως αντιμετωπίζεται με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων και την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας που θα μπορούσαν να αποκαταστήσουν τις υψηλές θερμοκρασίες των αντιδράσεων από το ηλιακό φως ή με την χρήση ανεμογεννητριών. Μια άλλη μέθοδος που έχει προταθεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες όχι μόνο των διεργασιών αυτών αλλά και γενικά των καθημερινών δραστηριοτήτων της αποικίας είναι η εγκατάσταση ενός πυρηνικού αντιδραστήρα 4ης γενιάς (Moore,2010).

Ο αντιδραστήρας αυτός χρησιμοποιεί ως καύσιμο το φθηνότερο και ασφαλέστερο θόριο (Th) έναντι του τυπικού ουρανίου (U) και η επιλογή αυτή παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως την αφθονία του θορίου (υπάρχει στη Φύση 3 φορές περισσότερο θόριο από ότι ουράνιο) και διασπάται ύστερα από κάποιες εκατοντάδες χρόνια έναντι του ουρανίου το οποίο διασπάται σε δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Ως ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται το λεγόμενο «τήγμα άλατος» (molten salt) και όχι το νερό που είναι πολύτιμο για τη διαβίωση στο διάστημα, με υψηλές αποδόσεις και παραγωγή μεγάλων ποσών ενέργειας (Yukyung & Kim, 2016).

#### **8.2.4 Πιθανές μέθοδοι παραγωγής νερού**

Όπως έχει αναφερθεί η έλλειψη νερού στον Άρη είναι ένα απ' τα βασικότερα προβλήματα που εμποδίζουν έναν επερχόμενο αποικισμό. Ένας προφανής τρόπος

παραγωγής υδρογόνου εντοπίζεται από την διαχείριση των υδρατμών που παράγονται από τις αντιδράσεις αυτές και την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσής του, αφού συμπυκνωθεί και μετατραπεί σε υγρή μορφή. Όμως ο τρόπος αυτός δεν είναι επαρκής και ακόμα και αν το υδρογόνο που παράγεται ηλεκτρολυτικά μπορεί να ανατροφοδοτήσει τις δύο αντιδράσεις και να συντηρήσει τον κύκλο της διεργασίας, εντούτοις οι ποσότητες που παράγονται δεν είναι επαρκείς και απαιτούνται νέοι τρόποι παραγωγής. Δύο μέθοδοι φαίνονται αρκετά ελπιδοφόρες ώστε να μπορούν από τη μία να καταστούν βιώσιμες και πρακτικές στο περιβάλλον του Άρη και ταυτόχρονα να παραχθούν ικανοποιητικές ποσότητες  $H_2$ :

1. από το ηλιακό φως, μέσω της φωτοκαταλυτικής διάσπασης του νερού με χρήση υλικών όπως το  $TiO_2$ ,
2. μέσω ενζυμικής κατάλυσης βιομάζας σακχάρων από φυτικές καλλιέργειες στην επιφάνεια του Άρη (Βασάλος, Βερούκιος, Λάμπας, Λεμονίδου, 2005).

#### **Διεργασία φωτοκαταλυτικής διάσπασης του νερού**

Η απευθείας παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου από την φωτολυτική διάσπαση του νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση φωτονίων με ενέργεια της τάξεως των 6,5 - 4,0 eV που αντιστοιχούν σε μήκη κύματος στην περιοχή των 190 - 310 nm. Η ενέργεια αυτή βρίσκεται ουσιαστικά έξω από το φάσμα της διαθέσιμης στη Γη ηλιακής ακτινοβολίας (350 - 1100 nm ή 3,5 - 1,1 eV) και για αυτό το λόγο δε παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον. Η υψηλή ενέργεια που απαιτείται για άμεση φωτόλυση του νερού, είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης φράγματος δυναμικού, που οφείλεται στην ενδιάμεση δημιουργία ριζών, όπως οι  $H^+$  και  $OH^-$ . Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση κατάλληλων φωτοκαταλυτικών διεργασιών.

Εφόσον το νερό δεν απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία εκτός από το χαμηλής ενέργειας υπέρυθρο τμήμα της, η φωτοκαταλυτική διάσπαση του νερού μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την χρήση κατάλληλων υλικών τα οποία, λειτουργώντας ως ενδιάμεσοι φορείς, επιτρέπουν τη διάσπαση του νερού με κυκλικό τρόπο (46). Τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν:

- 1) την απορρόφηση της εγγύς υπεριώδους και ορατής (UV/vis) ακτινοβολίας του ηλιακού φάσματος
- 2) τη μετατροπή της ενέργειας διέγερσης σε οξειδοαναγωγική ενέργεια (παραγωγή φορέων φορτίου),
- 3) τη μεταφορά των φορτίων αυτών στο νερό και την παραγωγή  $H_2$  ή και  $O_2$  μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων (Βασάλος, Βερύκιος, Λάππας, Λεμονίδου, 2005).

Μια προσέγγιση στο πρόβλημα αυτό είναι η χρήση ημιαγώγιμων υλικών σε διατάξεις απορρόφησης του φωτός.

### **Φωτοκατάλυση με χρήση τιτάνιας ( $TiO_2$ )**

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων αλλά και οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από χρήση μεθόδων παραγωγής καθαρού  $H_2$  (όπως η αναμόρφωση με ατμό ή η αεριοποίηση του άνθρακα) οδήγησαν την επιστημονική έρευνα προς εναλλακτικές-βιώσιμες σε βάθος χρόνου και περιβαλλοντικά φιλικές μεθόδους, όπως η φωτοκαταλυτική διάσπαση του νερού. Η παραγωγή καθαρού  $H_2$  με την μέθοδο αυτή εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- Είναι ενεργειακά αποδοτική
- Εκμεταλλεύεται την ανεξάντλητη και καθαρή ανανεώσιμη ηλιακή ενέργεια
- Έχει μικρό λειτουργικό κόστος
- Επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός υδρογόνου-οξυγόνου κατά την παραγωγή

Το διοξείδιο του τιτανίου ( $TiO_2$ ), γνωστό και ως τιτάνια, είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό, το οποίο συναντάται σε τρεις μορφές: ανατάσης, μπρουκίτης και ρουτήλιο. Έχει ευρύ χάσμα εφαρμογών, μία εξ αυτών και ως καταλύτης σε διεργασίες φωτοκατάλυσης.

- Ανατάσης: σταθερή σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενεργειακό χάσμα 3,23 eV.
- Ρουτήλιο: αποτελεί την πιο άφθονη και σταθερή μορφή, σταθερό σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ενεργειακό χάσμα 3,02 eV.

- Μπρουκίτης: συναντάται μόνο σε ορυκτά, ενεργειακό χάσμα 3,02 eV. Και στις τρεις μορφές, τα άτομα τιτανίου συνδέονται με 6 γειτονικά άτομα οξυγόνου σχηματίζοντας οκτάεδρα.

Στην κατάλυση χρησιμοποιούνται ο ανατάσης και το ρουτήλιο. Έχουν τετραγωνική κρυσταλλική δομή, διαφέρουν όμως ως προς τη γεωμετρία (Δασκαλάκη, 2009).

Η τιτάνια θεωρείται από τους καλύτερους φωτοκαταλύτες λόγω των εξής πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει:

1. Είναι σταθερή.
2. Είναι φιλική προς το περιβάλλον.
3. Είναι μη τοξική.
4. Παρουσιάζει υψηλή σταθερότητα ενάντια στη φωτοδιάβρωση.
5. Είναι σε αφθονία ενώ μπορεί να παραχθεί εύκολα.
6. Είναι σχετικά φθηνή.
7. Μπορεί να παραχθεί εύκολα σε νανοκρυσταλλική μορφή (Δασκαλάκη, 2009).

Παρ' όλα αυτά παρουσιάζει και κάποια βασικά μειονεκτήματα, τα οποία η επιστήμη προσπαθεί να ξεπεράσει με την τροποποίησή της. Ένα από τα βασικά μειονεκτήματά του  $TiO_2$  είναι η ενεργοποίησή του στο υπεριώδες φως, που οφείλεται στο σχετικά μεγάλο ενεργειακό του χάσμα.

Επιπλέον, ένα βασικό πρόβλημα του συγκεκριμένου καταλύτη είναι η άμεση επανασύνδεση ηλεκτρονίων και οπών πριν φτάσουν στην επιφάνεια του καταλύτη, ούτως ώστε να ξεκινήσουν αντιδράσεις οξειδοαναγωγής και άρα να μην επιτυγχάνεται η παραγωγή υδρογόνου.

### **Παραγωγή $H_2$ με ενζυμική κατάλυση σακχάρων**

Τα ένζυμα (ή αλλιώς βιοκαταλύτες) είναι οργανικές ενώσεις που δρουν ως βιολογικοί καταλύτες διευκολύνοντας (επιταχύνοντας) τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στους ζωντανούς οργανισμούς. Τα περισσότερα γνωστά ένζυμα

είναι πρωτεϊνικής φύσεως. Τα μόρια που πρόκειται να αντιδράσουν (υποστρώματα του ενζύμου) δεσμεύονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή του ενζύμου η οποία ονομάζεται ενεργό κέντρο, με σχήμα συμπληρωματικό του αντίστοιχου των αντιδρώντων μορίων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των υποστρωμάτων και του ενεργού κέντρου του ενζύμου καταλύει τη χημική αντίδραση που πραγματοποιείται ανάμεσα στα δεσμευμένα μόρια. Μετά την ολοκλήρωση της αντίδρασης, το προϊόν ή τα προϊόντα της απομακρύνονται και νέα μόρια μπορούν να δεσμευτούν στο ενεργό κέντρο του ίδιου ενζύμου (Λυκουργιώτης & Κορδούλης, 2003).

Η ενζυμική δράση χαρακτηρίζεται από υψηλή εξειδίκευση και κάθε ένζυμο δύναται να καταλύει μία μόνο βιολογική αντίδραση, ή μία μόνο ομάδα συγγενών αντιδράσεων. Η επίτευξη πολύ υψηλής εκλεκτικότητας αποτελεί βασική επιδίωξη στην κατάλυση. Σε ότι αφορά τις βιολογικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε ζώντες οργανισμούς, η εμφάνιση υψηλής εκλεκτικότητας αποτελεί αναγκαίο όρο για την ρύθμιση των μεταβολικών οδών, δηλαδή ακολουθιών βιοχημικών αντιδράσεων, που είναι απαραίτητοι για την επιβίωση και ανάπτυξή τους.

Η καταλυτική δράση των ενζύμων εξαρτάται από δύο παράγοντες: την θερμοκρασία και το pH. Γενικά, με την αύξηση της θερμοκρασίας σε οποιαδήποτε καταλυτική αντίδραση, αυξάνει και ο ρυθμός της. Σε ό,τι όμως αφορά τα ένζυμα, αυτή η περιοχή των θερμοκρασιών είναι πολύ στενή. Έτσι τα περισσότερα ένζυμα παρουσιάζουν βέλτιστη καταλυτική συμπεριφορά ανάμεσα στους 36 – 38° C. Γύρω στους 50° C, για τα περισσότερα ένζυμα παρατηρείται μείωση της καταλυτικής τους δραστηριότητας που οφείλεται σε μη αντιστρεπτή απενεργοποίησή τους.

Επιπλέον για κάθε ένζυμο υπάρχει μια συγκεκριμένη τιμή pH στην οποία μεγιστοποιείται ο ρυθμός αντίδρασης. Για τα περισσότερα ένζυμα η τιμή αυτή βρίσκεται στην περιοχή 5 – 9. Αυτό ισχύει πρωτίστως για τα ενδοκυτταρικά ένζυμα, τα περισσότερα από τα οποία εκδηλώνουν τη μέγιστη καταλυτική τους δραστηριότητα σε pH = 7. (Λυκουργιώτης & Κορδούλης, 2003).

**Παραγωγή H<sub>2</sub> με ενζυμική κατάλυση βιομάζας γλυκόζης και ξυλόζης από καλλιέργειες καλαμποκιού στον Άρη**

Μία από τις βασικές επιδιώξεις σε διαστημικά ταξίδια μακράς διάρκειας είναι η εξασφάλιση των συνθηκών και των πόρων για την συντήρηση της ανθρώπινης ζωής. Η ενδεχόμενη δημιουργία ανθρώπινης αποικίας στον Άρη θα συνοδεύεται και από την ανάπτυξη φυτικών καλλιεργειών τέτοιων, ώστε να συμβάλλουν στην σίτιση του ανθρωπίνου δυναμικού που εδρεύει εκεί και ταυτόχρονα να παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στις έντονες και ακραίες συνθήκες ενός εξωγήινου περιβάλλοντος ( Η NASA έχει ήδη αναπτύξει «ελεγχόμενα περιβάλλοντα» στα οποία έχει δημιουργήσει καλλιέργειες από αρειανό έδαφος (55). Το έδαφος αυτό έχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά ώστε να αναπτυχθούν φυτά που θα υποστηρίξουν την ανθρώπινη ζωή σε μία πιθανή εποίκηση του Άρη. Αν και οι ιδανικές αναλογίες για τα συστατικά αυτά δεν υφίσταται, εντούτοις το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με χρήση ειδικών λιπασμάτων τα οποία προστίθενται στο έδαφος. Οι ρίζες  $\text{ClO}_4$  - που απαντώνται ευρύτατα στο αρειανό έδαφος σε αναλογίες 0,5 - 1% μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετικές πηγές οξυγόνου, αλλά επίσης μπορούν να καταστούν και ως ένας κρίσιμος χημικός κίνδυνος για τους αστροναύτες, οπότε έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι απομάκρυνσής τους (Davila Willson, Coates, McKay, 2013).

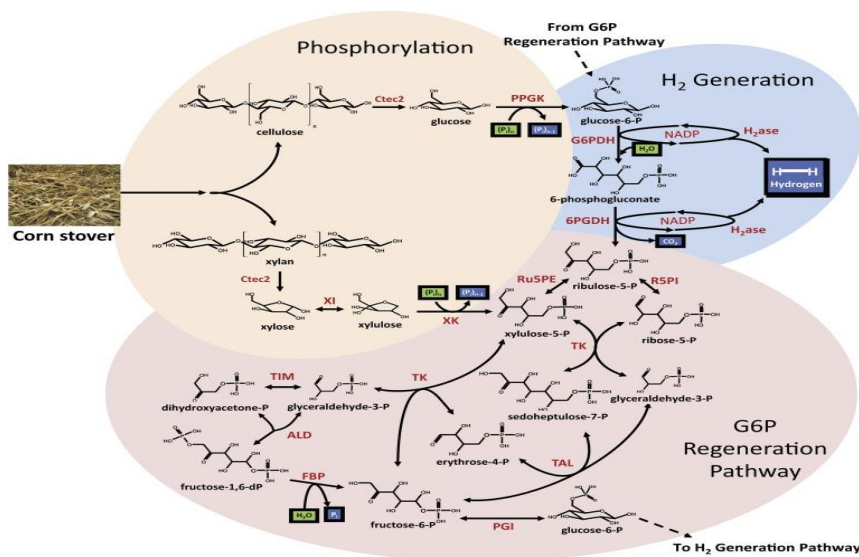
Το «ξεκλείδωμα» της τεράστιας οικονομίας του υδρογόνου εξαρτάται από την διαθεσιμότητα χαμηλού κόστους, ευρέως διαθέσιμου υδρογόνου το οποίο θα παράγεται από μη ανθρακούχες ενώσεις. Σχεδόν 50 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου παράγονται ετησίως από ορυκτά καύσιμα οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως για την διύλιση του πετρελαίου και την παραγωγή αμμωνίας. Επίσης, οι παρούσες επιλογές θερμοχημικής παραγωγής είναι απαγορευτικά ακριβές, όπως και η λύση παραγωγής υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης, που ακόμα και αν δύναται να χρησιμοποιεί ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, παραμένει εξίσου σχετικά ακριβή. Άλλες απόπειρες παραγωγής υδρογόνου παραμένουν χαμηλής απόδοσης και πέρα από πιθανή χρήση τους σε πρακτικές εφαρμογές.

Οι ερευνητές Rollin, Campo, και Myung (2015), ανακάλυψαν έναν τρόπο παραγωγής υδρογόνου με πολύ υψηλή απόδοση, μέσω ενζυμικής κατάλυσης βιομάζας σακχάρων, χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη σάκχαρα, όπως η γλυκόζη και η ξυλόζη που προέρχονται από σπόρους καλαμποκιού. Η ιδέα ήταν να παραχθεί υδρογόνο με χαμηλό κόστος και με σχετικά φθηνή πρώτη ύλη.



Η βιομάζα είναι μακράν η πιο άφθονη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, πολύ περισσότερη και διαθέσιμη από εκείνη που παρέχουν τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Τα κυρίαρχα σάκχαρα βιομάζας που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα ήταν η γλυκόζη (C<sub>6</sub>) και η ξυλόζη (C<sub>5</sub>) τα οποία έχουν αναλογία περισσότερο του 90% στα σάκχαρα ζύμωσης που υφίστανται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών.

Τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου όπως είναι η μικροβιακή ζύμωση, η αεριοποίηση, η αναμόρφωση του ατμού και η αναμόρφωση της υδατικής φάσης, χαρακτηρίζονται από χαμηλές αποδόσεις προϊόντος. Η μεταβολική μηχανική, είναι η κατασκευή συνθετικών ενζυματικών οδών χωρίς κυτταρικές μεμβράνες για την εκτέλεση σύνθετων βιοχημικών αντιδράσεων. Εκτός από τον θεμελιώδη ρόλο της στον περίπλοκο κυτταρικό μεταβολισμό, αυτό το πεδίο αναδύεται ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική βιοκατασκευαστική πλατφόρμα, ειδικά για την παραγωγή χαμηλού κόστους και υψηλής αξίας βιοκαυσίμων και βιοχημικών προϊόντων. Η μηχανική αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των βιοσυστημάτων κυττάρων: υψηλή απόδοση προϊόντος χωρίς τη δημιουργία παραπροϊόντων ή τη σύνθεση κυτταρικής μάζας, υψηλές ταχύτητες αντίδρασης, λόγω της εξάλειψης της μεταφοράς μέσω της κυτταρικής μεμβράνης, εύκολο διαχωρισμό προϊόντος, ανοχή των ενώσεων που θα μπορούσαν να είναι τοξικές για ανέπαφα κύτταρα, ευρείες συνθήκες αντίδρασης και μη φυσικές αντιδράσεις, όπως ο ενζυμικός μετασχηματισμός της κυτταρίνης σε άμυλο. Παρακάτω φαίνεται ο τρόπος διάσπασης ενζυματικής μετατροπή της βιομάζας σε H<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>:



Εικόνα 7: Μονοπάτι που απεικονίζει την ενζυματική μετατροπή της βιομάζας σακχάρων σε H<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> (High-yield hydrogen production from biomass by in vitro metabolic engineering: Mixed sugars coutilization and kinetic modeling).

Για την απελευθέρωση της ελεύθερης γλυκόζης και ξυλόζης ώστε να παραχθεί τελικά υδρογόνο, χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι προκατεργασμένης βιομάζας: διαλύτης κυτταρίνης και οργανικός διαλύτης κλάσματος λιγνοκυτταρίνης (COSLIF) καθώς και προεπεξεργασμένο αραιό οξύ. Η προεπεξεργασμένη βιομάζα που προκύπτει από τις δύο διαδικασίες στη συνέχεια υδρολύθηκε με ένα μείγμα κυτταρολάσης/ημικυτταρολάσης για να μεγιστοποιηθεί η απελευθέρωση των C<sub>6</sub> και C<sub>5</sub> σακχάρων.

### 9.1 Η ίδρυση της Space- X και το έργο της

Η "Space Exploration Technologies Corp." ή αλλιώς γνωστή και ως Space X έχει ως βάση της την Αμερική και ασχολείται με την αεροδιαστημική τεχνολογία και τις διαστημικές μεταφορές. Ιδρυτής της είναι ο Elon Musk και έδρα της το Hawthorne της Καλιφόρνιας και δημιουργήθηκε το 2002. Στόχος της είναι η μείωση του κόστους των μεταφορών στο διάστημα και η ανάπτυξη για τον εποικισμό στον Άρη. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος έχει δημιουργήσει τους πυραύλους Falcon και τα διαστημικά οχήματα Dragon τα οποία μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν φορτία σε τροχιά γύρω από τη Γη (Βαλάρης, 2018).

Το 2008 η Space X κατάφερε με δική της χρηματοδότηση έθεσε σε τροχιά πύραυλο υγρών καυσίμων, το Falcon 1. Ακόμα εκτόξευσε και έθεσε σε τροχιά το διαστημικό σκάφος Dragon το 2010 και κατάφερε να στείλει σκάφος στο Διαστημικό Σταθμό. Άλλη μια επιτυχία στο ενεργητικό της είναι η πρώτη κάθετη προσγείωση πυραύλου και την πρώτη επαναχρησιμοποίηση πυραύλου που είχε αποστείλει φορτίο σε τροχιά (Falcon 2015 και Falcon 2017 αντίστοιχα). Η Space X έχει ολοκληρώσει δεκαοχτώ αποστολές ανεφοδιασμού στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Η Nasa έχει υποβάλει στην Space X να αναπτύξει περισσότερο το σκάφος Dragon ώστε να είναι ένα ολοκληρωμένο σκάφος που θα μπορέσει να κάνει επανδρωμένες αποστολές στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό και θα τους μεταφέρει με ασφάλεια πίσω στην Γη (Βαλάρης, 2019).

Το 2015 και όπως είχε ήδη προαναγγείλει η εταιρία Space X ο επαναχρησιμοποιημένος πύραυλος Falcon 9 επέστρεψε από πτήση και προσγειώθηκε σε εξέδρα απ' όπου είχε ήδη ξεκινήσει. Τον Μάρτιο του 2017 η Space X κατάφερε να

γίνει ο πρώτος οργανισμός που εκτόξευσε και προσγείωσε πύραυλο που είχε χρησιμοποιηθεί ξανά για να αποστείλει φορτίο σε τροχιά.

Τον Σεπτέμβριο του 2016 ο Elon Musk εξέφρασε την ιδέα για την δημιουργία ενός προγράμματος για Διαπλανητικές Μεταφορές. Η δημιουργία αυτή θα μπορέσει να αναπτύξει διαστημική τεχνολογία για επανδρωμένες αποστολές με στόχο την δημιουργία μόνιμης βάσης στον Άρη (Βάλαρης, 2019). Ο Starship Space X είναι ο μεγαλύτερος και ισχυρότερος επαναχρησιμοποιημένος πύραυλος. Έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει φορτία και επιβάτες για ταξίδια μεγάλης διάρκειας. Στις εκτοξεύσεις τροχιάς της Γης θα προωθείται κι από έναν ακόμα προωθητήρα τον Star Heavy (Βάλαρης, 2019).

## 9.2 Το σχέδιο εποίκισμού του Άρη της Space X

Ο Elon Musk θεωρεί πως για να παραμείνει το ανθρώπινο είδος ζωντανό σε περίπτωση ενός τρίτου παγκόσμιου πυρηνικού πολέμου αλλά και μια επερχόμενης θανατηφόρας πανδημίας όπως είχε αναφέρει και ο Hawking πρέπει οι άνθρωποι να δώσουν έμφαση στον εποίκισμό ενός νέου πλανήτη και ο Άρης αποτελεί μια καλή λύση καθώς είναι ο πρώτος κοντινότερος πλανήτης της Γης (Γλαύκα, 2020)

Οι πρώτες αποστολές θα είναι αρκετά δύσκολες και επικίνδυνες και θα πεθάνουν αρκετοί αστροναύτες όπως έχει δηλώσει ο ίδιος αλλά σταδιακά και με το σχέδιο του πιστεύει πως σε 100 χρόνια θα έχει δημιουργηθεί μια πρώτη αποικία που θα μπορεί να φιλοξενήσει ανθρώπινη ζωή. Για τον σκοπό αυτό ο Elon Musk κατασκευάζει μεγάλα και ισχυρά διαστημόπλοια ώστε το ταξίδι να διαρκεί 80 μέρες αντί για 6 με 9 μήνες που είναι σήμερα. Αυτά τα ταξίδια θα πραγματοποιούνται κάθε 2 χρόνια τότε που οι τροχιές του Άρη και της Γης έρχονται κοντά( Γλαύκα, 2020)

Σύμφωνα με το project θα εκτοξευτεί ένας δορυφόρος τηλεπικοινωνιών που θα μπει σε τροχιά γύρω απ τον κόκκινο πλανήτη και θα επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ Άρη και Γης. Το 2023 θα φτάσουν στον κόκκινο πλανήτη έξι σκάφη με όλα όσα είναι αναγκαία ώστε το rover που βρίσκεται εκεί να φτιάξει την Αρειανή βάση που θα υποδεχτεί το 2025 τους πρώτους αποίκους.

Οι αστροναύτες που θα επιλεγούν να είναι οι πρώτοι άποικοι θα πρέπει να εκπαιδευτούν 8 χρόνια σε απομονωμένη περιοχή. Ακόμα θα μάθουν να επισκευάζουν

τα καταλύματα που θα τους φιλοξενούν, να καλλιεργούν λαχανικά σε κλειστούς χώρους και να αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας.

Σε κάθε βοηθητική αποστολή πριν την αποίκηση θα φτάνουν στον Άρη προμήθειες όπως φαγητά και ηλιακοί συλλέκτες. Ωστόσο το νερό και το οξυγόνο δεν μπορούν να μεταφερθούν γι αυτό και οι αστροναύτες θα πρέπει να μεταφέρουν φυτά και θα φιλτράρουν αρειανό νερό από το αρειανό υπέδαφος. Με αυτόν τον τρόπο θα δημιουργήσουν μια ατμόσφαιρα που θα μοιάζει με την γήινη σε ένα συγκεκριμένο μέρος του πλανήτη αλλά ο μηχανισμός σε κατοικήσιμο περιβάλλον σε όλο τον πλανήτη θα πάρει εκατοντάδες χρόνια(Γλαύκα, 2020)

Η αποστολή στον Άρη ανακοινώθηκε το 2016 και τον Σεπτέμβριο του ίδιου χρόνου δημοσίευσε την πρώτη φωτογραφία σχεδιάζοντας την πρώτη αποικία στον Άρη. Το πρόβλημα που αντιμετώπιζε ο Musk είναι πως θα αντέξει το κόστος ενός τέτοιου σχεδίου. Για τον λόγο αυτό κατέληξε σε ένα επιχειρηματικό σχέδιο που μετατρέπει το διαστημικό όχημα του σε μια επένδυση που θα χρησιμοποιηθεί από την Space X για μελλοντικές συνεργασίες.

Ο πύραυλος BFR είναι ένας αναβαθμισμένος πύραυλος που θα αντικαταστήσει τα “Falcon 9”, “Falcon Heavy” και “Dragon”. Η αντικατάσταση αυτή θα είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική σταθερότητα των αποστολών. Θα προσφέρει λύση σε πολλά προβλήματα συνεχίζοντας να εξυπηρετεί τις τροχιακές ανάγκες της Γης, της Σελήνης και του Άρη. Ο BFR όπως προαναφέρθηκε είναι επαναχρησιμοποιήσιμος χαμηλώνοντας αρκετά το κόστος σε σχέση με άλλους πυραύλους και διαστημικά οχήματα. Η χωρητικότητά του είναι μεγάλη ώστε μπορεί να μεταφέρει εκατό επιβάτες (Lab of 10. 2018)



**Εικόνα 8: Ο πύραυλος BFR (space-x.com)**

Η πρώτη αποστολή στον Άρη θα γίνει το 2022 με την άτυπη μεταφορά ενός φορτίου στον Άρη για να μπορέσουν να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη υδάτινων πόρων και να εντοπίσουν πιθανές απειλές για τον εποικισμό τους. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου το Space X θα θέσει σε εφαρμογή τις εργασίες για την υποδομή της υποστήριξης της ζωής, αυτό θα είναι μια επιχείρηση ζωτικής σημασίας.

Το 2024 είναι η επόμενη αποστολή στον Άρη όπου το BFR θα μεταφέρει τόσο φορτίο όσο και το βάρος των πρώτων αποίκων. Η αποστολή θα διαρκέσει μήνες αλλά οι επιβάτες θα έχουν αρκετό χώρο στον πύραυλο. Ο BFR θα αποτελείται από σαράντα καμπίνες, τεράστιους κοινούς χώρους και αίθουσες ψυχαγωγίας.

Μόλις φτάσουν στον πλανήτη οι πρώτοι άποικοι θα πρέπει να κατασκευάσουν μια αποθήκη ανεφοδιασμού καυσίμων για τα διαστημόπλοια που θα φτάσουν μελλοντικά. Αυτό το εργοστάσιο καυσίμων και τα διαστημόπλοια που χρησιμοποιήθηκαν θα αποτελούν την πρώτη βάση του Άρη που θα αποτελέσει την αρχή της δημιουργίας ενός αυτοσυντηρούμενου πολιτισμού σε έναν αφιλόξενο πλανήτη (Lab of 10).

Η μολυσμένη αρειανή ατμόσφαιρα για τον άνθρωπο όπως και το παγιδευμένο νερό στο υπέδαφος και στους πόλους του πλανήτη είναι τα δυο βασικότερα μειονεκτήματα που κάνουν τον Άρη αφιλόξενο για το ανθρώπινο είδος. Ο Elon Musk για να μεταμορφώσει την ατμόσφαιρα και τον πλανήτη να μοιάζει πιο κοντά στον δικό μας πρότείνει να βομβαρδίσουν τους πόλους για να διαφύγει από κει το νερό που είναι

παγιδευμένο. Ωστόσο μια τέτοια κίνηση κρίθηκε λανθασμένη και καταστροφική για οποιαδήποτε μορφή ζωής κατοικεί εκεί. Γι αυτό δήλωσε πως στην πραγματικότητα δεν είναι αυτό που θα κάνει αλλά θα κατασκευάσει μαξιλάρια προσγείωσης τα οποία θα δημιουργήσουν ένα αστικό περιβάλλον παρόμοιο με της Γης (Lab of 10).

Προτού προηγηθεί ο εποικισμός στον Άρη θα πρέπει σύμφωνα με τον Musk να δημιουργηθεί στην Σελήνη αστροναυτική βάση ώστε να είναι πιο εύκολη η μελέτη του Άρη. Ο Musk συμπλήρωσε πως το BFR θα μπορούσε με ευκολία να προσγειωθεί στην Σελήνη και να μεταφέρει αστροναύτες.

Ο Elon Musk φιλοδοξεί πως το 2060 θα αποικούν στον Άρη 1.000.000 κάτοικοι. Για να δημιουργηθεί ένας αυτοσυντηρούμενος πολιτισμός στον Άρη θα χρειαστεί να σταλούν 10.000 πτήσεις BFR και πάρα πολλές προμήθειες. Τα πρώτα εισητήρια θα είναι πολύ ακριβά ωστόσο με το πέρασμα του χρόνου θα μπορούσαν να φτάσουν 100.000\$ με 200.000\$. Ο Elon Musk έχει ήδη στείλει με το Heavy Falcon το δικό του αυτοκίνητο Tesla συνδεδεμένο με φωτογραφική μηχανή (Lab of 10, 2018)

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία

Βασάλος, Ι.; Βερύκιος, Ξ. Λάμπας, Ά. Λεμονίδου, Α. Περιβαλλοντική Κατάλυση Καταλυτική Παραγωγή Καυσίμων Φιλικών προς το Περιβάλλον. Εκδόσεις Ε.Α.Π.: Πάτρα, 2005

Βαλάρης, Θ. Υπολογιστική διερεύνηση των ροϊκών φαινομένων γύρω από διαστημικό σκάφος σε συνθήκες κίνησης σε διαφορετικές ατμόσφαιρες. Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τομέας Κατασκευαστικός : Κοζάνη, 2019

Γλαύκα. Ο πλανήτης Άρης και το σχέδιο εποίκισμou του. 30 Ιουνίου 2020

Δασκαλάκη, Β. Ανάπτυξη ολοκληρωμένης διεργασίας για τη φωτοκαταλυτική διάσπαση του νερού προς παραγωγή υδρογόνου με χρήση ηλιακής ακτινοβολίας. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών: Πάτρα, 2009

Λυκουργιώτης, Α. Σ. Κορδούλης, Χ. Κατάλυση, 1st ed. Εκδόσεις Ε.Α.Π.: Πάτρα, 2003

Lab of top 10. Top 10 πράγματα για την αποικίας στον Άρη σύμφωνα με το project του Elon Musk. 20 Απριλίου 2018

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

Abney, M. B. Manshell, M. J. Stanley, C. Edmunson, J. DuMez, S. J. Chen, K. Ongoing Development of a Series Bosch Reactor System. 43rd International Conference on Environmental Systems , Vail-Colorado, 2013

Barlow, N. MARS: AN INTRODUCTION TO ITS INTERIOR,SURFACE AND ATMOSPHERE, Cambridge Planetary Science ed.; Cambridge University Press, 2009.

Birch, P. Terraforming Mars Quickly. Journal of the British Interplanetary Society, 1992

Criswell, M. E. Race, M. S. Rummel, J. D. Baker, A. Planetary Protection Issues in the Human Exploration of Mars Report Colorado State University: Fort Collins, Colorado, 2001.

Cucinotta, F. A. Kim, M.-H. Chappell, L. J. Huff, J. L. How Safe Is Safe Enough? Radiation Risk for a Human Mission to Mars. PLOS|ONE, Οκτώβριος 15, 2013.

David.R.Williams. NASA.  
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2003-027A> (March 07, 2019).

Davila, A. F. Willson, D.; Coates, D. McKay, C. Perchlorate on Mars: A chemical hazard and a resource for humans. International Journal of Astrobiology, 2013

Guaist, A. Brandt, G. Toxicity of Carbon Dioxide: A Review. Chemical Research in Toxicology, July 06, 2011, 2061-2070

Haberle, R. M. Georgia Tech-Earth and Atmospheric Studies, 2000. Planetary Atmospheres/Mars.



[http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter12/Ency\\_Atmos/Planetary\\_Atmos\\_%20Mars.pdf](http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter12/Ency_Atmos/Planetary_Atmos_%20Mars.pdf) ( Feb 02, 2019).

Hossain, A. S. Khea, D. Shoneck, A. Humanity and Space - Colonizing Mars; Worcester Polytechnic Institute-Digital WPI: Worcester , 2015.

Jones, H. W.Hodgson, E. W. Kliss, M. H. Life Support for Deep Space and Mars. 44th International Conference on Environmental Systems, Tucson, Arizona, 2014

Junaedi, C. Hawley, K. Walsh, D. Roychoudhury. Compact and Lightweight Sabatier Reactor for Carbon Dioxide Reduction. 41st International Conference on Environmental Systems , Oregon, 2011.

Junaedi, C. Hawley, K. Walsh, D.; Roychoudhury,. Compact and Lightweight Sabatier Reactor for Carbon Dioxide Reduction. 41st International Conference on Environmental Systems , Oregon, 2011.

Maganova, M. McKay, C. P. Hashimoto, H. Warming Mars Using Artificial SuperGreenhouse Gases. Journal of the British Interplanetary Society, Ιανουάριος 2000

May, A. Humans could be heading to Mars in 25 years, NASA says. USA Today 2018.

McKay, C. P. On Terraforming Mars. In Extrapolation, 4th ed.; Liverpool University Press, 1982; Vol. 23

McKay, C. P.; Toon, O. B.; Kasting, J. F. Making Mars habitable. Nature-International Journal of Science, August 1991, 489-496.

Moore, C. L. Technology Development for Human Exploration of Mars. Acta Astronautica, Nov 2010.

Nasa Exploration. <https://mars.nasa.gov/programmissions/science/goal4/> (accessed March 11, 2021).

NASA. Strategic Principles for Space Exploration. In Nasa's Journey to Mars Pioneering Next Steps in Space Exploration, 1st ed. Washington DC, 2015 Vol. I, pp 6-10.

Nasa-Jet Propulsion Laboratory. <https://mars.nasa.gov/msl/mission/technology/> (accessed March 07, 2021).

Nathanson, E. Environmental Control and Life Support Systems for Human Exploration Missions to Near-Earth Asteroids; Universität Stuttgart: Stuttgart, 2011.

R.F.Holmes; Keller, E. E.; King, C. D. A CARBON DIOXIDE REDUCTION UNIT USING BOSCH REACTION AND EXPENDABLE CATALYST CARTRIDGES; Contractor Report; CONVAIR DIVISION OF GENERAL DYNAMICS CORPORATION-LANGLEY RESEARCH CENTER: San Diego-California, 1970

Rollin, J. A. Del Campo, M. J. Myung, S. High-yield hydrogen production from biomass by in vitro metabolic engineering: Mixed sugars coutilization and kinetic modeling. PNAS, April 06, 2015

Salyk, C. National Optical Astronomy Observatory , 2013. Introduction to the Solar System. [https://www.noao.edu/staff/csalyk/AST101/presentations/Intro\\_to\\_SS.pdf](https://www.noao.edu/staff/csalyk/AST101/presentations/Intro_to_SS.pdf) (Φεβρουάριος 25, 2021).

Staff, S. c. <https://www.space.com>. <https://www.space.com/14729-spacekidsdistance-earth-mars.html> (Feb 25, 2019).

Sun, D. Simakov, D. S. A. Thermal management of a Sabatier reactor for CO<sub>2</sub> conversion into CH<sub>4</sub>: Simulation-based analysis. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, July 15, 2017

Williams, D. R. NASA Space Science Data Coordinated Archive. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/viking.html> (accessed March 07, 2018).

Wilson, R. B. FUNDAMENTAL INVESTIGATION OF THE BOSCH REACTION; Wesleyan University: Ohio , 1969.

Yukyung, S. Seo, S. Kim, G. I. Natural Circulation with DOWTHERM RP and its MARS Code Implementation for Molten Salt-Cooled Reactors. International Journal of Energy Research, June 25, 2016

Zubrin, R. M. McKay, C. P. Technological Requirements for Terraforming Mars. 29th Joint Propulsion Conference and Exhibit, Joint Propulsion Conferences, Monterey,CA,U.S.A., 1993.