

TERRAFORMING

Δυστυχώς η μεγάλη πλειοψηφία των πλανητών στο ηλιακό μας σύστημα είναι ακατάλληλοι για τη συντήρηση ζωής. Σαν λύση στο πρόβλημα αυτό εμφανίζεται ένα από τα πιο τρελλά όνειρα της επιστημονικής φαντασίας.

Θέμα του η αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών και όχι μόνο, ενός ολόκληρου πλανήτη έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η συντήρηση γήινης ζωής.

1. Εισαγωγή

Ο Ντάγκλας Κουέντ μαζί με την σύντροφο του βγαίνουν από μιά σήραγγα παρασυρμένοι από μιά τεράστια αέρια δίνη, ενώ έχουν θέσει σε λειτουργία μια εξωγήινη συσκευή στην επιφάνεια του Αρη. Το δυστύχημα γι αυτούς είναι ότι δε φορούν προστατευτικές στολές. Το πρόσωπο τους λόγω της μεγάλης διαφοράς εξωτερικής και εσωτερικής πίεσης αρχίζει να παραμορφώνεται και δείχνει τα πρώτα σημάδια μιας επερχόμενης εσωτερικής έκρηξης. Εν τω μεταξύ η μηχανή δουλεύει στο φούλ και παράγει τεράστιες ποσότητες αερίων. Σιγά σιγά η πίεση της αρειανής ατμόσφαιρα αυξάνει και τελικά εξισώνεται με τη γήινη. Και όχι μόνο αυτό αλλά και η σύσταση της αλλάζει έτσι ώστε να μην είναι πια θανατηφόρα στη γήινη ζωή. Ο Ντάγκλας Κουέντ και η σύντροφος του γλυτώνουν την ζωή τους ενώ μια νέα εποχή αρχίζει στον Αρη. Οι άνθρωποι απαλλαγμένοι πια από την ανάγκη να ζούν έγκλειστοι σε θόλους, προστατευμένοι από την δολοφονική αρειανή ατμόσφαιρα, ετοιμάζονται να μετατρέψουν τον Αρη σε μια νέα Γή.

Η παραπάνω σκηνή φαντάζομαι ότι είναι οικεία σε πάρα πολλούς από τους αναγνώστες καθώς αποτελεί την κορύφωση και το τέλος την πολύ γνωστής ταινίας ΕΦ με τίτλο "Ολική Επαναφορά". Η τεχνητή μεταμόρφωση του πλανήτη Αρη στο συγκεκριμένο παράδειγμα ή και του κάθε άλλου πλανήτη στο ηλιακό μας σύστημα ή σε οποιοδήποτε άλλο από μια εχθρική έρημο σε ένα φιλόξενο οικοδεσπότη ονομάζεται terraforming. Η λέξη προέρχεται από τη λατινική ονομασία για τη Γή που είναι Terra. Terraforming λοιπόν σημαίνει ότι δημιουργώ συνθήκες παρόμοιες με τη Γή σε έναν άλλο πλανήτη. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι αλλαγές έχουν να κάνουν κυρίως με την ατμόσφαιρα του πλανήτη. Δεν πρόκειται να αλλάξει ούτε η μάζα του αλλά ούτε και η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια του. Ακόμα και μετά την ολοκλήρωση μιας πετυχημένης γεωδιαμόρφωσης (terraforming) ο κάθε άνθρωπος θα ζυγίζει στον Αρη περίπου το 40% του βάρους του στην Γή, όσο ακριβώς ζύγιζε και πριν.

Δεν είναι όμως μόνο η "Ολική Επαναφορά" που παρουσιάζει μια αλλαγή ενός πλανήτη με τεχνητά μέσα έτσι ώστε να γίνει κατάλληλος για μας. Στην ταινία "Aliens" παρακολουθούμε την σύγκρουση των τεράτων με την Ripley σε ένα πλανήτη που αλλάζει, που γίνεται φιλικότερος προς τον άνθρωπο. Η αποικία των ανθρώπων που τα τέρατα εξολόθρευσαν είχε σαν σκοπό την δημιουργία κατάλληλης για τους ανθρώπους ατμόσφαιρας. Μάλιστα αν θυμηθούμε ότι στην πρώτη ταινία της σειράς η εξερευνητική ομάδα φορά προστατευτικές στολές είναι φανερό ότι η ατμόσφαιρα του πλανήτη ήταν αρχικά δηλητηριώδης. Στη δεύτερη ταινία η ατμόσφαιρα έχει αλλάξει έτσι ώστε οι στολές να μην είναι πια απαραίτητες. Αντίθετα, δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα αναπνοής της ατμόσφαιρας από τους πεζοναύτες. Δεν είναι μόνο οι ταινίες που αναφέρονται σε αυτή τη διαδικασία αλλά και οι τηλεοπτικές σειρές. Σαν παράδειγμα στο Star Trek : Η Επόμενη Γενιά, υπάρχει στην πρώτη χρονιά το επεισόδιο με τίτλο "Home Soil" όπου ενώ μια ομάδα μηχανικών μεταμορφώνουν έναν υποτιθέμενο χωρίς ζωή πλανήτη ανακαλύπτουν μια νέα μορφή ζωής.

Όμως η διαδικασία αυτή έχει γίνει πολύ γνωστή και μέσα από δεκάδες μυθιστορήματα ΕΦ. Μια από τις καλύτερες σειρές με αυτό το θέμα είναι η τριλογία του Kim Stanley Robinson με τίτλο "Κόκκινος Άρης", "Πράσινος Άρης", "Μπλέ Άρης". Μια τριλογία που περιγράφει

πολύ γλαφυρά την γεωδιαμόρφωση του Άρη και που αν και δεν έχει ακόμα εκδοθεί στα ελληνικά από ότι γνωρίζω ετοιμάζεται (τουλάχιστον το πρώτο μέρος της) και σύντομα θα είναι στη διάθεση μας.

Η επιστημονική φαντασία λοιπόν και εδώ όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις μας έδωσε το όνειρο. Τώρα πια αισθανόμαστε έτοιμοι να ξεπεράσουμε το στάδιο του ονείρου και να αρχίσουμε μια σοβαρή επιστημονική συζήτηση για την πραγματοποίηση του. Δυστυχώς ακόμη δεν έχουμε τις τεχνολογικές δυνατότητες για να σπάσουμε τα δεσμά του ηλιακού μας συστήματος και να αναζητήσουμε πιο ελπιδοφόρους πλανήτες από τους άμεσους γείτονες μας. Θα περιοριστούμε λοιπόν αναγκαστικά στο ηλιακό μας σύστημα.

2. Επιλογή

Από τους 8 πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος (εκτός της Γής βέβαια), οι αέριοι γίγαντες Δίας και Κρόνος είναι με την πρώτη ματιά ακατάλληλοι, καθώς και οι Ποσειδώνας, Ουρανός και Πλούτωνας που είναι πολύ μακριά από τον Ήλιο με αποτέλεσμα εξωφρενικά χαμηλές θερμοκρασίες. Το ακριβώς αντίθετο πρόβλημα έχει ο Ερμής που είναι πολύ κοντά στον Ήλιο με αποτέλεσμα τεράστιες θερμοκρασίες στην επιφάνεια του (τουλάχιστον στην πλευρά που βλέπει πάντα προς τον Ήλιο) που τον καθιστούν και αυτόν ακατάλληλο.

Τελικά λοιπόν οι βασικοί υποψήφιοι είναι η Αφροδίτη και ο Άρης. Πολλές φορές αναφέρεται η Αφροδίτη και όχι άδικα σαν ο αδελφός πλανήτης της Γής. Η ένταση του πεδίου βαρύτητας στην επιφάνεια της είναι το 95% αυτής στην επιφάνεια της Γής σε σύγκριση με το 40% του Άρη. Αυτό σημαίνει ότι ένας άποικος που "ζυγίζει" (μην ξεχνάμε ότι το βάρος κανονικά μετριέται σε Newton) 100 kgf στην Γή θα "ζυγίζει" 95 kgf στην Αφροδίτη και μόλις 38 kgf στον Άρη. Λογικό λοιπόν είναι ότι ο άποικος θα αισθάνεται πολύ πιο "φυσιολογικά" στην Αφροδίτη παρά στον Άρη. Αρα θα περιμέναμε ένα σχέδιο μεταμόρφωσης ενός πλανήτη σε ένα φιλόξενο χώρο για τα πλάσματα της Γής να ξεκινήσει από την Αφροδίτη. Δυστυχώς όμως υπάρχουν αξεπέραστα προβλήματα. Η Αφροδίτη έχει μια θερμοκρασία επιφάνειας κοντά στους 450 βαθμούς Κελσίου. Θα πρέπει λοιπόν να μειώσουμε τη θερμοκρασία της κοντά στο 1/20 της σημερινής. Δυστυχώς όμως η Αφροδίτη είναι αρκετά πιο κοντά στον Ήλιο από ότι η Γή με αποτέλεσμα να δέχεται το διπλάσιο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας από ότι η Γή γεγονός που κάνει την προσπάθεια μείωσης της θερμοκρασίας της ακόμα δυσκολότερη. Και τελικά πάντα είναι ευκολότερα (αυτό το ξέρουμε και από την καθημερινή ζωή) να θερμάνουμε παρά να ψύξουμε ένα σώμα. Αλλά προβλήματα που παρουσιάζει η Αφροδίτη, είναι η τρομερά μεγάλη ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της (κοντά στις 90 ατμόσφαιρες) αλλά και η ίδια η σύνθεση της ατμόσφαιρας της που αποτελείται κύρια από διοξείδιο του άνθρακα. Αν λοιπόν ξεκινούσαμε να γεωδιαμορφώνουμε την Αφροδίτη θα έπρεπε να βρούμε ένα τρόπο να δεσμεύσουμε όλες αυτές τις τεράστιες ποσότητες των αερίων κάτι εξαιρετικά δύσκολο. Τέλος η διάρκεια της μέρας της είναι μόνο 243 γήινες μέρες. Μπορεί λοιπόν η ένταση της βαρύτητας στην επιφάνεια της καθώς και η συνολική μάζα της Αφροδίτης να είναι παραπλήσιες με αυτές του μητρικού μας πλανήτη αλλά δυστυχώς υπάρχουν πολλά προβλήματα που κάνουν το εγχείρημα απαγορευτικό. Οχι όμως για όλους. Υπάρχουν ακόμα κάποιοι ρομαντικοί που εξακολουθούν να μελετούν αυτό το πρόβλημα ελπίζοντας να βρουν μια λύση.

Και αν για την Αφροδίτη τα προβλήματα είναι πολλά και δυσεπίλυτα δεν συμβαίνει το ίδιο και με τον Άρη. Μπορεί αρχικά τα προβλήματα να φαίνονται το ίδιο μεγάλα όπως αυτά της Αφροδίτης όμως είναι πολύ πιο εύκολα αντιμετωπίσιμα. Η μάζα του Άρη είναι πολύ μικρότερη από αυτή της Γής και η ατμόσφαιρα του πρακτικά ανύπαρκτη (η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια του Άρη είναι περίπου το 1% αυτής που έχουμε στην Γή). Η ατμόσφαιρα του αποτελείται κύρια από διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο. Οι πάγοι στους πόλους του είναι παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα και όχι νερό όπως θα ελπίζαμε ίσως, άλλο ένα σημάδι της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας του. Ο Άρης βρίσκεται μιάμιση φορά πιο μακριά από τον Ήλιο από ότι η Γή με αποτέλεσμα να λαμβάνει λιγότερη από την μισή ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνει η Γή. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από τους άνετους 20

βαθμούς Κελσίου το μεσημέρι σε μερικές περιοχές, όπως μέτρησε ο Pathfinder μέχρι τους -100 βαθμούς την νύχτα. Η μέση θερμοκρασία του είναι περίπου - 30 βαθμοί Κελσίου. Με τέτοιες θερμοκρασίες είναι φυσικό να μην υπάρχει νερό σε υγρή μορφή στην επιφάνεια του. Η μικρότερη μάζα του σε σχέση με την Γή καθώς και η μικρότερη ένταση του πεδίου βαρύτητας στην επιφάνεια του μπορεί, αρχικά να εμφανίζεται σαν ένα μειονέκτημα στην πραγματικότητα όμως είναι πλεονέκτημα. Και αυτό γιατί σε περιβάλλον χαμηλότερης βαρύτητας η δημιουργία και διατήρηση ατμόσφαιρας αναπνεύσιμης, που σημαίνει ότι η ατμοσφαιρική πίεση θα είναι παραπλήσια με αυτή της Γής, απαιτεί πολύ μεγαλύτερη μάζα αερίων. Δηλαδή η ατμόσφαιρα του μετά το τέλος της γεωδιαμόρφωσης θα είναι αρκετά πυκνότερη από την γήινη. Η πυκνή αυτή ατμόσφαιρα θα είναι και πιο ζεστή από την γήινη εξισοροπώντας σε ένα βαθμό τη μεγαλύτερη απόσταση του Άρη από τον Ήλιο. Ακόμα όμως και η αραιή ατμόσφαιρα που έχει τώρα ο Άρης μπορεί να μας βοηθήσει στο εγχείρημα μας. Η ατμόσφαιρα του ακόμα και τώρα είναι αρκετά πυκνή ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πετάξει κάποιο αεροπλάνο (με την σημαντική βοήθεια βέβαια και της χαμηλής βαρύτητας) καθώς και για να επιβραδύνει ένα διαστημόπλοιο (μια διαδικασία γνωστή σαν αεροφρενάρισμα). Επίσης είναι ήδη γνωστοί γήινοι μικροοργανισμοί που μπορούν να αντέξουν τις θερμοκρασιακές μεταβολές που εμφανίζονται στον Άρη αν υπάρχει κοντά τους (και φυσικά έχουν πρόσβαση σε αυτό) νερό σε υγρή μορφή. Ο Άρης έχει αρκετό νερό σε μορφή πάγου (κάποιοι μάλιστα υπολογισμοί προειδοποιούν ότι αν λειώσουν όλοι οι πάγοι στον Άρη θα καλυφθεί όλη η επιφάνεια του που είναι περίπου ίση με την στεριά στην Γή με ένα ωκεανό βάθους περίπου 100 μέτρων). Κάποιοι ίσως θεωρήσουν σαν αυτονόητο ότι το νερό στον Άρη βρίσκεται παγωμένο στους πόλους του. Υπάρχει νερό εκεί αλλά είναι πολύ λίγο. Η μεγάλη μάζα του νερού βρίσκεται παγωμένη κάτω από την επιφάνεια του Άρη σε ένα στρώμα μόνιμου πάγου και αρειανού χρώματος που ονομάζεται permafrost. Η μέρα στον Άρη είναι κάτι παραπάνω από 24 ώρες και ο άξονας του έχει μια κλίση παρόμοια με της Γής, με αποτέλεσμα μια παρόμοια εναλλαγή εποχών. Σαν συμπέρασμα μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι γήινοι οργανισμοί θα μπορούσαν πολύ εύκολα να προσαρμοσθούν και να ζήσουν στον Άρη αρκεί να υπάρξει μια κατάλληλη ατμόσφαιρα.

3. Οι προτεινόμενες διαδικασίες.

Τελικά ο κατάλληλος πλανήτης για την πρώτη απόπειρα γεωδιαμόρφωσης είναι όπως είδαμε ο Άρης. Πριν όμως αρχίσουμε την διαδικασία θα πρέπει να εξασφαλίσουμε την ύπαρξη βασικών συστατικών απαραίτητων για την ανάπτυξη ζωής. Η παρούσα τεχνολογία είναι ανίκανη να μεταφέρει σε πλανητική κλίμακα τέτοιες ποσότητες ώστε να αναπληρώσει τυχόν έλλειψη τους. Αλλά ακόμα και αν μπορούσαμε να τα μεταφέρουμε θα κόστιζε τόσο πολύ που θα έκανε το όλο εγχείρημα απαγορευτικό. Τα τρία βασικά συστατικά που μας ενδιαφέρουν είναι το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο. Αυτά τα τρία συστατικά είναι αυτά που ουσιαστικά απαρτίζουν την βιόσφαιρα στην Γή. Το νερό είναι το βασικό μέσο όπου λαμβάνουν χώρα οι βιοχημικές διαδικασίες της ζωής. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι απαραίτητο στη φωτοσύνθεση σαν πηγή οξυγόνου αλλά και άνθρακα. Το άζωτο είναι απαραίτητο στην κατασκευή πρωτεϊνών αλλά και άλλων απαραίτητων στην ζωή μορίων. Η γεωδιαμόρφωση του Άρη σημαίνει απλά αναδιάταξη αυτών των συστατικών στην επιθυμητή κατάσταση. Γνωρίζουμε ότι στην τωρινή ατμόσφαιρα υπάρχουν πολύ μικρές ποσότητες από τα συστατικά που θέλουμε. Πιστεύουμε όμως ότι υπάρχουν (διοξείδιο του άνθρακα παγωμένο στους πόλους και νερό παγωμένο στο έδαφος). Επίσης γνωρίζουμε ότι κάποια άλλη εποχή έρρεε υγρό νερό στην επιφάνεια του πλανήτη άρα υπήρχε πολύ πιο πυκνή ατμόσφαιρα. Και αν παλιότερα η ατμόσφαιρα αποτελείτο από οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα τότε οι θεωρίες μας για την πλανητική διαμόρφωση προβλέπουν ότι θα υπήρχε και άζωτο. Τελικά λοιπόν τότε ο Άρης θα έμοιαζε πολύ με την Γή. Η προσπάθεια μας λοιπόν θα είναι να ξαναδημιουργήσουμε αυτή την εικόνα. Η εικόνα αυτή μπορεί να μην κράτησε πολύ αλλά η μεγάλη ποσότητα των βασικών αυτών συστατικών ελπίζουμε ότι παρέμειναν στον πλανήτη. Η ερώτηση αφορά κυρίως το άζωτο το οποίο μπορεί να διέφυγε σε μεγάλες ποσότητες στο διάστημα η να παρέμεινε δεσμευμένο στο έδαφος με την μορφή νιτρικών ενώσεων. Ελπίζοντας ότι οι αναγκαίες ποσότητες αυτών των συστατικών έχουν παραμείνει στον Άρη μπορούμε να αρχίσουμε να μελετάμε τις προτεινόμενες διαδικασίες.

Για να γεωδιαμορφώσουμε όμως τον Άρη θα πρέπει πρώτα να μεταφέρουμε εκεί ένα μεγάλο αριθμό από τεχνικούς καθώς και τεράστιες μάζες υλικών. Οι τεχνικοί θα πρέπει να ζούν μέσα σε θόλους και ταυτόχρονα θα πρέπει να δημιουργηθούν κάποιες χημικές βιομηχανίες όπως θα δούμε και παρακάτω απαραίτητες στην διαδικασία της γεωδιαμόρφωσης, καθώς και εγκαταστάσεις απαραίτητες για την συντήρηση της ζωής μέσα στους θόλους. Το πρώτο ερώτημα λοιπόν που προβάλλει είναι πώς θα μεταφέρουμε όλα αυτά τα υλικά τον εξοπλισμό καθώς και τους ανθρώπους στον Άρη. Μια πρώτη ιδέα σύμφωνη με την υπάρχουσα διαστημική τεχνολογία είναι η χρησιμοποίηση χημικών η ακόμα και πυρηνικών πυραύλων. Όμως το κόστος μιας τέτοιας μεθόδου είναι τεράστιο. Αντίθετα μια πιο λογική μέθοδος είναι η χρησιμοποίηση ηλιακών ιστιοφόρων. Αυτά θα είναι σκάφη εφοδιασμένα με ένα τεράστιο μεταλλικό "πανί" που θα χρησιμοποιεί την πίεση του ηλιακού ανέμου, όπως ακριβώς τα παλιά ιστιοφόρα χρησιμοποιούσαν την πίεση του αέρα. Ένα τέτοιο σκάφος έχει πολλά πλεονεκτήματα. Πρώτα από όλα δεν χρειάζεται να μεταφέρει καύσιμα μαζί του. Την ενέργεια του την προμηθεύει ο Ήλιος. Αμέσως βλέπουμε την τεράστια οικονομία που αυτό προκαλεί. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς πρόβλημα παραπάνω από μία φορές. Βέβαια η πλοήγηση ενός τέτοιου σκάφους είναι πολύ πιο δύσκολη σε σχέση με ένα συμβατικό, όμως στην εποχή μας τον κυρίαρχο ρόλο παίζουν τα οικονομικά κριτήρια οπότε κάποια λύση θα βρεθεί σε αυτό το πρόβλημα. Ένα τέτοιο σκάφος μπορεί να μεταφέρει από τη Γη στον Άρη μέσα σε 400 μέρες 23 τόννους εξοπλισμό.

Το πρώτο πρόβλημα λοιπόν λύθηκε. Τεχνικοί, εξοπλισμός και υλικά μεταφέρθηκαν στον κόκκινο πλανήτη και όλα είναι έτοιμα για να αρχίσει η διαδικασία της γεωδιαμόρφωσης. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την αλλαγή κλίματος είναι τα εξής τέσσερα. Χρειαζόμαστε για να ζήσουμε στον Άρη μια πιο πυκνή ατμόσφαιρα, πολύ περισσότερο οξυγόνο στον αέρα, θερμότητα και υγρό νερό, καθώς και προστασία από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες και τον ηλιακό άνεμο, μια προστασία που είναι απαραίτητη αν θέλουμε να διατηρηθεί η γήινη ζωή στον Άρη.

Αρχικά θα ξεκινήσουμε ζεσταίνοντας την ατμόσφαιρα έτσι ώστε να αρχίσει και η διαδικασία του ξεπαγώματος του εγκλωβισμένου πάγου στο έδαφος (permafrost). Μια πολύ ελκυστική ιδέα έχει να κάνει με την εφαρμογή στον Άρη του προβλήματος που αντιμετωπίζουμε τώρα στην Γη όπου η χρήση συγκεκριμένων χημικών ουσιών (όπως φρέον) οδηγεί σε ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και θέρμανση της ατμόσφαιρας. Μόνο που στον Άρη αυτό δεν θα είναι πια ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα αλλά ο βασικός σκοπός μας. Τέτοια αέρια είναι οι χλωροφλοράνθρακες γνωστοί σαν CFC. Θα απελευθερώσουμε λοιπόν μεγάλες ποσότητες από τέτοια αέρια στην ατμόσφαιρα του Άρη. Αυτά τα αέρια ονομάζονται και αέρια του θερμοκηπίου γιατί έχουν την ιδιότητα να εγκλωβίζουν ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να θερμαίνεται η ατμόσφαιρα. Λόγω αυτής της θέρμανσης απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα από το έδαφος που είναι και αυτό ένα αέριο του θερμοκηπίου ανεβάζοντας και άλλο την θερμοκρασία, απελευθερώνοντας και άλλο διοξείδιο του άνθρακα και δημιουργώντας ένα φαύλο κύκλο που τελικό αποτέλεσμα θα έχει όπως υπολογίζεται το ανέβασμα της ατμοσφαιρικής πίεσης στο ένα περίπου πέμπτο της γήινης και σε μια θερμοκρασία αρκετά ψηλή σε χαμηλά ύψη ώστε να αρχίσει να λείωνει ο πάγος και να εμφανίζεται νερό σε υγρή μορφή.

Η λογική ερώτηση που ακολουθεί είναι που θα βρεθεί μια τόσο μεγάλη μάζα από αυτά τα αέρια. Μια πολύ καλή πρόταση που θα οδηγήσει και στην λύση ενός σοβαρού προβλήματος στη Γη είναι να τροποποιηθούν οι κεφαλές των πυραύλων που μεταφέρουν πυρηνικά όπλα έτσι ώστε να μεταφέρουν αυτά τα αέρια στον Άρη. Με αυτό τον τρόπο γλυτώνουμε και από τους πυρηνικούς πυραύλους. Δυστυχώς ακόμα και αν στέλναμε όλους τους πυραύλους στον Άρη είναι αμφίβολο αν η μάζα των αερίων που θα μεταφερόταν με αυτό τον τρόπο θα ήταν αρκετή για να επιτελέσει αυτό το έργο. Άρα η μόνη λύση είναι να κατασκευασθούν στον επί τόπου, πράγμα που σημαίνει ότι πριν αρχίσει η διαδικασία της γεωδιαμόρφωσης θα πρέπει να υπάρχει μια αρκετά ανεπτυγμένη χημική βιομηχανία στον Άρη. Οι πρώτες ύλες υπάρχουν

στον κόκκινο πλανήτη άρα το μόνο που θα χρειαστεί να μεταφερθεί από την Γή είναι ο βιομηχανικός εξοπλισμός.

Μια άλλη εναλλακτική πρόταση για την δημιουργία αερίων θερμοκηπίου είναι μια εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλιακών "ιστιοφόρων". Μπορούμε λοιπόν να δημιουργήσουμε μεγάλους καθρέπτες που θα τους τοποθετήσουμε σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη με τέτοιο τρόπο ώστε η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία να πέφτει στους πόλους. Όπως είπαμε ο πάγος στους πόλους είναι κύρια παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα οπότε όταν αυτό αρχίσει να λιώνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου θα αρχίσει να ανεβάζει τη θερμοκρασία και ο κύκλος θα αρχίσει.

Μια πιο λογική τεχνολογικά πρόταση για το λιώσιμο των πάγων είναι και η χρησιμοποίηση πυρηνικών όπλων, με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί ένα σύννεφο σκόνης πάνω από τους πόλους που θα αρχίσει την διαδικασία του θερμοκηπίου. Αυτό το σενάριο όμως δεν είναι καθόλου ασφαλές καθώς είναι επικίνδυνο να δημιουργηθεί ένας πυρηνικός "χειμώνας" αντί του φαινομένου του θερμοκηπίου με αντίθετα αποτελέσματα από το προσδοκώμενα.

Το δεύτερο πρόβλημα λοιπόν λύθηκε. Με τον άλφα η τον βήτα τρόπο η ατμόσφαιρα θερμάνθηκε και η ατμοσφαιρική πίεση μεγάλωσε σε σημείο που να γίνει αναπνεύσιμη. Τι γίνεται όμως με το οξυγόνο; Θα πρέπει να βρεθεί κάποιος τρόπος ώστε να απελευθερωθούν τεράστιες ποσότητες οξυγόνου στην ατμόσφαιρα. Αρχικά η ατμόσφαιρα του Άρη θα αποτελείται κύρια από διοξείδιο του άνθρακα. Σε μια τέτοια ατμόσφαιρα δεν μπορεί να επιβιώσει ο άνθρωπος αλλά ευτυχώς μπορούν να επιβιώσουν φυτά. Και όχι απλά μόνο επιβιώνουν αλλά μετατρέπουν και το διοξείδιο του άνθρακα σε υπερπολύτιμο οξυγόνο. Συνεπώς μία λύση θα είναι να εισάγουμε φυτά στον Άρη, ίσως ακόμα και γενετικά μεταλλαγμένα φυτά τα οποία θα προσαρμοσθούν πολύ πιο εύκολα στις συγκεκριμένες συνθήκες. Μια εναλλακτική πρόταση έχει να κάνει με το προσωνύμιο του Άρη. Πολλές φοιρές αναφερόμαστε σε αυτόν σαν τον "κόκκινο πλανήτη". Το χρώμα του το οφείλει στις μεγάλες ποσότητες σκουριάς που υπάρχουν στην επιφάνεια του. Από την λυκειακή χημεία γνωρίζουμε ότι η σκουριά προέρχεται από την οξείδωση του σιδήρου. Κάποιος λοιπόν θα μπορούσε να προτείνει την απελευθέρωση του οξυγόνου που υπάρχει στη σκουριά, στην επιφάνεια του Άρη. Αυτή όμως η διαδικασία απαιτεί μεγάλες θερμοκρασίες, τέτοιες ώστε μόνο μια καλά αναπτυγμένη βιομηχανική μονάδα θα μπορούσε να πετύχει. Και εδώ είναι το πρόβλημα. Για να λειτουργήσει αυτή η μέθοδος βλέπουμε και πάλι ότι χρειάζεται πολύ αναπτυγμένη χημική βιομηχανία. Ίσως να είναι δυνατόν να μετατραπεί η χημική βιομηχανία που παρασκεύαζε τους γλωροφλοράνθρακες σε μονάδες απελευθέρωσης οξυγόνου.

Η απελευθέρωση του νερού αλλά και του οξυγόνου μέσα από το permafrost μπορεί να γίνει και με τη χρήση νανοτεχνολογίας. Αυτή η μέθοδος μοιάζει να είναι η γρηγορότερη όλων καθώς αν περιμένουμε από την φωτοσύνθεση να απελευθερώσει το αναγκαίο για την ύπαρξη μας οξυγόνο ζήτω που καήκαμε. Θα περιμένουμε χιλιάδες χρόνια. Η μέθοδος στηρίζεται στην ανάπτυξη μικροσκοπικών μορφών ζωής, αποκαλούμενων νανιτών που θα αφεθούν ελεύθεροι πάνω στον Άρη. Τα παραπροϊόντα της ζωής αυτών των οργανισμών θα είναι η απελευθέρωση του οξυγόνου από το αρειανό χόμα. Λόγω των κινδύνων που εμπεριέχει αυτή η τεχνολογία θα πρέπει να αναπτυχθεί στο εργαστήριο μακριά από κάθε ανθρώπινη επαφή. Όταν θα ελευθερωθούν στον Άρη θα πρέπει να έχουν εγκαταληφθεί όλες οι εγκαταστάσεις και οι άνθρωποι να έχουν μεταφερθεί κάπου στο διάστημα ή σε κάποιο από τα δύο φεγγάρια του Άρη. Όταν η ατμόσφαιρα φθάσει σε κάποια επιθυμητή αναλογία οξυγόνου θα πρέπει οι νανίτες να καταστούν ανενεργοί. Ίσως χρησιμοποιώντας κάποια ακτινοβολία που θα τους στειρώσει. Ίσως να έχουν εγκατεστημένη στο γενετικό υλικό τους κάποια εντολή αποενεργοποίησης. Πάντως ότι και να γίνει θα πρέπει για την δημόσια υγεία των αποίκων του Άρη αυτοί οι οργανισμοί να εξοντωθούν. Θα μπορούσε αυτές οι μορφές ζωής να είναι έτσι σχεδιασμένες που μεγάλες ποσότητες οξυγόνου να είναι βλαβερές γι αυτούς. Και εδώ υπάρχει ένα πολύ μεγάλο ερωτηματικό. Πόσο αποτελεσματική μπορεί να είναι μια τέτοια προσπάθεια καθώς και πόσο σίγουροι μπορούμε να είμαστε για την επιτυχία της ώστε να διακινδυνεύουμε την χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου. Το μεγάλο της

πλεονέκτημα σε σύγκριση με την φωτοσύνθεση είναι πάντως ότι σε μερικά χρόνια αντί για μερικές χιλιετίες θα υπάρχει αρκετό οξυγόνο στον Άρη ικανό να συντηρήσει ανθρώπινη ζωή. Το πιθανό κόστος όμως ίσως να είναι τρομακτικό.

Η παραγωγή οξυγόνου έχει και ένα πολύ σημαντικό δευτερεύον; αποτέλεσμα. Η ηλιακή ακτινοβολία το μετατρέπει σε όζον που είναι απαραίτητο για την προστασία της ζωής από τις υπεριώδεις ηλιακές ακτίνες. Χωρίς ένα τέτοιο στρώμα θα είναι πολύ δύσκολη η συντήρηση ανθρώπινης ζωής στον Άρη. Κάποιες άλλες μορφές ζωής κυρίως υδρόβιες μπορεί να μην χρειάζονται μια τέτοια προστασία αλλά δυστυχώς εμείς χρειαζόμαστε. Η Γή πέρα από το στρώμα του όζοντος που μας προστατεύει (όσο έχει μέχρι στιγμής απομεινεί μετά την τεράστια καταστροφή που έχει υποστεί τις τελευταίες δεκαετίες) έχει και ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο που οδηγεί τα φορτισμένα σωματίδια του ηλιακού ανέμου στους πόλους μακριά από τις μεγάλες συγκεντρώσεις ζωής. Ακόμα δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι για την ένταση του Αρειανού μαγνητικού πεδίου αλλά ακόμα και αν είναι πολύ μικρότερο από αυτό της Γής (όπως οι αρχικές ενδείξεις δείχνουν) το γεγονός ότι ο Άρης είναι αρκετά πιο μακριά από τον ήλιο από όσο η Γή ίσως αποδειχθεί ευεργετικό. Πάντως στην χειρότερη περίπτωση θα πρέπει ο αρειανός πληθυσμός να προφυλάσσεται σε καταφύγια κατά την διάρκεια ηλιακής δραστηριότητας μεγάλης έντασης. Όταν τελειώσει και η απελευθέρωση του νερού και του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, η ατμοσφαιρική πίεση θα είναι περίπου διπλάσια της γήινης και η μέση θερμοκρασία τουπλανήτη περίπου 15 μαθημοί Κελσίου.

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία λιμνών και θαλασσών από το νερό που έχει απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Μεγάλες μάζες νερού βοηθούν στην κατακράτηση της ηλιακής ακτινοβολίας και στην άνοδο της θερμοκρασίας. Τα ευεργετικά αποτελέσματα της θάλασσας στο κλίμα τα μαθαίνουμε από το δημοτικό όπου βλέπουμε τις διαφορές μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος. Σε αυτές τις θάλασσες η τις λίμνες μπορούν να απελευθερωθούν οι πρώτοι υδρόβιοι οργανισμοί ώστε να αρχίσει η διαδικασία για την μετανάστευση της γήινης ζωής στον πλανήτη. Οι μορφές ζωής που θα εγκατασταθούν στον Άρη θα πρέπει να είναι γενετικά μεταλλαγμένες ώστε να προσαρμοσθούν εύκολα στο εκεί περιβάλλον. Θα πρέπει να ανέχονται τις πολύ εκτεταμένες εποχές, να είναι ανθεκτικές στις μεταλλάξεις από την ακτινοβολία (μέχρι τουλάχιστον να αναπτυχθεί κατάλληλα το στρώμα του όζοντος) αλλά ταυτόχρονα να είναι και αρκετά ευκολοπροσάρμοστες στις τυχόν μη προβλεπόμενες εξελίξεις. Η θάλασσα πάντως θα είναι αρχικά η βάση του οικοσυστήματος καθώς θα μπορεί να φιλοξενήσει πλαγκτόν που θα βοηθά και στην παραγωγή οξυγόνου. Σιγά σιγά θα εισαχθούν και άλλα φυτά πέρα από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε οξυγόνο, αλλά και ζώα και τελικά θα μετατραπεί ο άγονος πλανήτη σε ένα κόσμο που θα σφύζει από ζωή.

5. Διάρκεια

Μπορεί στις τηλεοπτικές σειρές ή στις ταινίες η διαδικασία της γεωδιαμόρφωσης να χρειάζεται λίγα μόνο λεπτά για να ολοκληρωθεί στην πραγματικότητα όμως θα κρατήσει αιώνες η ακόμα και χιλιετίες. Όταν και αν ξεκινήσει θα είναι ένα σχέδιο που όμοιο του δεν θα έχει ξαναζήσει η ανθρωπότητα. Στις προηγούμενες σελίδες αναφερθήκαμε στη θέρμανση ενός πλανήτη, στην απελευθέρωση των ωκεανών του που είναι τώρα εγκλωβισμένοι μέσα στο "permafrost" και στην κατασκευή μιας αναπνεύσιμης ατμόσφαιρας λές και αναφερόμαστε σε κάτι συνηθισμένο και καθημερινό σαν τον υπολογιστή που γράφεται αυτό το άρθρο. Δύσκολα ακόμα και οι πιο ευφάνταστοι από μάς μπορούν να συλλάβουν το μέγεθος αυτού του εγχειρήματος. Η μετατροπή σε κατοικίσιμου ενός άγονου πλανήτη θα είναι όταν ξεκινήσει η μεγαλύτερη πρόκληση που θα έχει συναντήσει στην μέχρι τότε ιστορία του ο άνθρωπος.

Θα χρειαστούν τουλάχιστον χίλια χρόνια από τη στιγμή που θα σπείρουμε τον Άρη μέχρι την στιγμή που ο πρώτος άνθρωπος θα αναπνεύσει την αρειανή ατμόσφαιρα αν τελικά βασιστούμε στη φωτοσύνθεση για την παραγωγή οξυγόνου. Και πριν θα πρέπει να έχουμε εγκαταστήσει βάσεις, μεταφέρει τόνους εξοπλισμού και εκατοντάδες αν όχι χιλιάδες

ανθρώπων. Η γεωδιαμόρφωση του Άρη είναι μια διαδικασία που θα κρατήσει αιώνες. Μια μικρή σύγκριση με την ήδη υπάρχουσα ιστορία μπορεί να μας πείσει για το μέγεθος του εγχειρήματος. Εστω ότι το όλο σχέδιο κρατήσει 1000 χρόνια. Για να καταλάβουμε το πρωτοφανές στην ιστορία του ανθρώπου μέγεθος αυτού του εγχειρήματος θα κάνουμε μια μικρή ιστορική σύγκριση. Πριν από 1000 το Βυζάντιο βρισκόταν στην ακμή του. Όταν το σχέδιο ολοκληρωθεί το πιθανότερο είναι ότι μάλλον εμείς θα μοιάζουμε στους τότε επιστήμονες όπως οι κάτοικοι της τότε Κωνσταντινούπολης σε μάζ. Τα τεχνολογικά επιτεύγματα της τότε εποχής θα φαίνονται τόσο προχωρημένα σε κάποιον από μας όσο και οι υπολογιστές σε ένα βυζαντινό. Είναι πάντως σίγουρο η βελτίωση της τεχνολογίας μας που θα επέλθη με την ανάπτυξη του πολιτισμού μας θα οδηγήσει και στην επιτάχυνση της ολοκλήρωσης αυτής της προσπάθειας. Οτι όμως και να πετύχουμε, όσο γρήγορα και να πάμε είναι σίγουρο ότι αυτό το εγχείρημα θα διαρκέσει αιώνες.

6. Ηθικά Διλήμματα

Αν η όλη διαδικασία διαρκέσει τόσα χρόνια τότε γιατί να προσπαθήσουμε; Προφανώς δεν πρόκειται να δώσει λύση στο πρόβλημα του υπερπληθυσμού που εμφανίστηκε στη Γή τα τελευταία χρόνια. Σίγουρα ο πληθυσμός της Γής θα αυξάνεται με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό από αυτόν που θα μπορεί να εξάγεται σε άλλους πλανήτες. Η λύση λοιπόν στο πρόβλημα του υπερπληθυσμού δεν περνά από την γεωδιαμόρφωση άλλων πλανητών αλλά μέσα από πιο πεζές και πιο γήινες μεθόδους.

Η ιστορία της ζωής δίνει πολλά παραδείγματα όπου η ζωή μεταφέρθηκε και αναπτύχθηκε σε αρχικά αφιλόξενα μέρη. Ολη η ιστορία της ζωής στη Γή, όπως ξεκίνησε από την θάλασσα, είναι μια μάχη για επιβίωση σε ένα επιθετικό περιβάλλον. Ακόμα και ο άνθρωπος σήμερα κινδυνεύει. Οχι από το άμεσο περιβάλλον του (αυτό σε ένα μεγάλο βαθμό έχει καταφέρει να το ελέγξει ακόμα και με την εξόντωση όλων των ειδών που τον απειλούσαν) αλλά από κάποια σύγκρουση ενός μετεωρίτη με τη Γή. Υπάρχει η θεωρία ότι οι δεινόσαυροι εξαφανίστηκαν μετά από μια τέτοια σύγκρουση. Η εξάπλωση του ανθρώπινου είδους σε ένα άλλο πλανήτη μπορεί να θεωρηθεί και ένα είδος αυτοάμυνας απέναντι στο περιβάλλον αλλά και απέναντι στον ίδιο του τον εαυτό. Μπορεί η πιθανότητα μιας τέτοιας σύγκρουσης να είναι μικρή αλλά δεν είναι αμελητέα. Σίγουρα πάντως δεν είναι απίθανη η περίπτωση ενός παγκόσμιου πυρηνικού πολέμου και ενός πυρηνικού χειμώνα που θα τον ακολουθήσει.

Ακόμα και αν δεν είναι ορατό από πολλούς έχουμε ήδη μπει σε μια αρχική διαδικασία εφαρμογής του σχεδίου. Ήδη έχει συζητηθεί πολύ σοβαρά η δημιουργία μιας αυτόνομης γήινης βάσης στον Άρη. Οι άνθρωποι που θα ταξιδέψουν ως εκεί και εγκατασταθούν εκεί θα αρχίσουν και την διαδικασία γιατί αυτό θα είναι το συμφέρον τους. Ο Άρης θα είναι η πατρίδα τους, ο τόπος τους και θα είναι πολύ καλύτερα γι αυτούς αν η ατμόσφαιρα του είναι αναπνεύσιμη και η θερμοκρασία του ανεκτή. Όσο θα αυξάνονται αυτοί οι άποικοι τόσο και θα πολλαπλασιάζονται οι προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. Και τελικά την γεωδιαμόρφωση του Άρη δεν θα την κάνουν κάποια κράτη που το πρώτο που σκέφτονται σε όλα τα άλλα ζητήματα πέρα από την κατασκευή όπλων είναι το οικονομικό κόστος αλλά οι ίδιοι οι άποικοι.

Μέχρι στιγμής αντιμετωπίσαμε τον Άρη σαν ένα νεκρό κόσμο. Τι γίνεται όμως αν υπάρχει έστω και υποτυπώδης ζωή πάνω του; Και αν λάβουμε υπ' όψιν τις σημερινές συνθήκες αλλά και τις συνθήκες που θα προσπαθήσουμε εμείς να δημιουργήσουμε το πιθανότερο είναι να εξαφανίσουμε αυτές τις μορφές ζωής. Πόσο έχουμε λοιπόν το δικαίωμα να αποφασίζουμε για την ζωή ή τον θάνατο άλλων ειδών ζωής; Το κάναμε ήδη στην Γή όπου εξαφανίσαμε ολόκληρα είδη και ήδη έχουμε αρχίσει να μετανιώσουμε οικτρά, θα αρχίσουμε να εξαπλώνουμε αυτή την δολοφονική συνήθεια μας και σε άλλους πλανήτες; Μια εύκολη απάντηση είναι ότι το απαιτεί η επιβίωση του είδους και γι αυτό είμαστε υποχρεωμένοι να το κάνουμε. Το απαιτεί όμως; Και γιατί κινδυνεύει το είδος; Μήπως γιατί είμαστε αρκετά ηλίθιοι ώστε να γεμίσουμε τον πλανήτη πυρηνικά όπλα; Μήπως γιατί καταστρέψαμε την

ατμόσφαιρα μολύνοντας την; Και τώρα θέλουμε να εξαπλωθούμε σε άλλους πλανήτες για να επαναλάβουμε ακριβώς τα ίδια λάθη;

Ήδη αυτά τα υποθετικά προς το παρόν ερωτήματα έχουν αρχίσει να διατυπώνονται στα συνέδρια που αναφέρονται σε αυτή την ιδέα και είναι αρκετά τα τελευταία χρόνια. Είναι τα συνηθισμένα ερωτήματα που διατυπώνονται με την μία ή την άλλη μορφή σε κάθε επαναστατική ανακάλυψη. Γιατί να ξοδεύονται τόσα χρήματα για να εκτοξεύονται άνθρωποι στο διάστημα, ρωτούσαν κάποιοι πριν από τριάντα χρόνια. Με αυτά τα λεφτά θα μπορούσαμε να χτίσουμε τόσα νοσοκομεία. Σύμφωνα αλλά η τεχνολογία που αναπτύχθηκε μέσα από αυτές τις πτήσεις έκανε δυνατή σήμερα την εγχείρηση κάποιου ασθενούς ενώ ένας ειδικός γιατρός από χιλιόμετρα μακριά παρακολουθεί και δίνει τις συμβουλές του. Είναι ένα μεγάλο θέμα που χρήζει εκτενούς συζήτησης. Σίγουρα η γεωδιαμόρφωση του Άρη θα προσθέσει πολλά και σε γνώσεις που θα εφαρμοσθούν στην καθημερινή ζωή αλλά και σε προϊόντα ή πρώτες ύλες. Τα προϊόντα της βιομηχανίας που θα υπάρχει στον Άρη αλλά και οι πρώτες ύλες (οι δικές του ή των αστεροειδών που ο Άρης και τα φεγγάρια του θα είναι το κεντρικό διακομιστικό σημείο) θα είναι καλοδεχούμενες αν όχι απαραίτητες στη Γή. Είναι τα ίδια επιχειρήματα με αυτά κάποιων άλλων που υποστηρίζουν την αποκύρηξη κάποιων μορφών τεχνολογίας γιατί καταστρέφουν το περιβάλλον. Η απάντηση δεν είναι να εξαφανίσουμε τα αυτοκίνητα γιατί εκπέμπουν καυσαέρια και μολύνουν το περιβάλλον αλλά να προσπαθήσουμε να κατασκευάσουμε αυτοκίνητα όσο το δυνατόν πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Ετσι και εδώ, η όποια προσπάθεια πραγματοποίησης του σχεδίου αυτού θα πρέπει να γίνει με τη μεγαλύτερη προσοχή και ευαισθησία. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν θα υπάρξουν θύματα. Θα υπάρξουν, εξ άλλου η ιστορία της ζωής είναι μια ιστορία επικράτησης του δυνατότερου. Ας προσπαθήσουμε να πετύχουμε τα θύματα είτε αυτά είναι γήινες μορφές ζωής είτε αρειανές να είναι όσο το δυνατόν λιγότερα και ας μας κοστίσει και μερικά εκατομμύρια δολάρια παραπάνω.

Ενθετο πρώτο: Το φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Ο τρόπος με τον οποίο η ατμόσφαιρα θερμαίνεται από την επιφάνεια της γής και όχι από την ηλιακή ακτινοβολία ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το εσωτερικό ενός θερμοκηπίου είναι θερμότερο από το περιβάλλον γύρω του γιατί το ηλιακό φως μπορεί να διαπεράσει τα γυάλινα παράθυρα του και να ζεστάνει τον εσωτερικό χώρο σε αντίθεση με την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από το ζεστό εσωτερικό και στην οποία το γυαλί είναι αδιαφανές. Με αυτό τον τρόπο ένα μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παραμένει μέσα στο θερμοκήπιο ανεβάζοντας την θερμοκρασία του. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με την ατμόσφαιρα. Εδώ βέβαια δεν έχουμε γυάλινα παράθυρα αλλά έχουμε είδη αερίων τα οποία απορροφούν συγκεκριμένες συχνότητες. Είναι γνωστό ότι κάθε αντικείμενο ακτινοβολεί ανάλογα με την θερμοκρασία του. Τα θερμότερα ακτινοβολούν σε υψηλότερες συχνότητες ενώ τα πιο κρύα σε χαμηλότερες. Η θερμοκρασία του Ήλιου είναι περίπου 6000 βαθμοί Κελσίου ενώ η επιφάνεια της Γής κοντά στους 20. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η ακτινοβολία του Ήλιου να αποτελείται κύρια από ορατό φως στο οποίο η ατμόσφαιρα είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό διαφανής ενώ στην ακτινοβολία της επιφάνειας της Γής κυριαρχούν τα πολύ μεγαλύτερα μήκη κύματος (στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας). Αυτή η ακτινοβολία όμως απορροφάται από κάποια αέρια στην ατμόσφαιρα όπως το διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα να παραμένει στην Γή και να ανεβαίνει η μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση τέτοιων αερίων τόσο πιο έντονο θα είναι και το συγκεκριμένο φαινόμενο.

Βαγγέλης Κανακάρης

Οκτώβρης 1998

