

## Bioethica

Vol 6, No 1 (2020)

Bioethica



### Bioethics of Bioastronautics

George Profitiliotis (Γεώργιος Προφητηλιώτης)

doi: [10.12681/bioeth.22616](https://doi.org/10.12681/bioeth.22616)

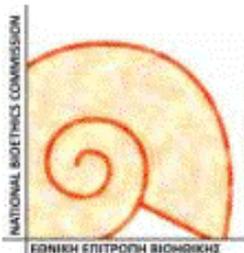
Copyright © 2020, George Profitiliotis



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

### To cite this article:

Profitiliotis (Γεώργιος Προφητηλιώτης) G. (2020). Bioethics of Bioastronautics. *Bioethica*, 6(1), 20.  
<https://doi.org/10.12681/bioeth.22616>



# ΒΙΟΗΘΙΚΑ

Ηλεκτρονικό Περιοδικό της Εθνικής Επιτροπής Βιοηθικής

**Πρωτότυπες Εργασίες - Original Articles**

## Ζητήματα Βιοηθικής της Βιοαστροναυτικής

Γιώργος Προφητηλιώτης

Υποψήφιος Διδάκτωρ, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 15773, Αθήνα

 [gprofitil@mail.ntua.gr](mailto:gprofitil@mail.ntua.gr)

### Περίληψη

Η εμφάνιση αναδυόμενων πρωτοβουλιών στον τομέα του διαστήματος -και δη ιδιωτικών- έχει αρχίσει να επεκτείνει τα όρια της διαστημικής βιομηχανίας, χάρη σε τεχνολογικές καινοτομίες που σύντομα θα μπορούν να διευκολύνουν σημαντικά την ανάπτυξη πρωτοποριακών τομέων που είχαν παραμεληθεί στο παρελθόν, όπως είναι, για παράδειγμα, η επιστημονική έρευνα στο διάστημα, η εξερεύνηση του διαστήματος, η αξιοποίηση των πόρων του διαστήματος και η ανθρώπινη παρουσία στο διάστημα. Η αναζωογόνηση και η επερχόμενη ανάπτυξη αυτής της νέας διαστημικής οικονομίας στους πρωτοποριακούς τομείς που προαναφέρθηκαν αναμένεται να φέρουν στο προσκήνιο σημαντικά ζητήματα βιοηθικής. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρατεθούν συγκεντρωτικά τα κυριότερα εξ αυτών, μετά από την ανασκόπηση πλήθους σχετικών επιστημονικών δημοσιεύσεων της διεθνούς βιβλιογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν βιοηθικά ζητήματα σχετικά με τον τομέα της βιοαστροναυτικής -και δη υπό το πρίσμα των μελλοντικών αποστολών στον Άρη-, τα οποία θα αναφέρονται τόσο στη γήινη ζωή, δηλαδή στους μικροοργανισμούς, στα φυτά, στα ζώα και στον άνθρωπο, όσο και στην πιθανή εξωγήινη ζωή. Δεδομένων των επιταχυνόμενων εξελίξεων, η καταλληλότερη στιγμή να συζητηθούν αυτά τα ζητήματα για να πληροφορήσουν τη χάραξη των σχετικών πολιτικών είναι τώρα.

**Λέξεις κλειδιά:** βιοηθική, βιοαστροναυτική, επανδρωμένη διαστημική, αστροβιολογία, προστασία των πλανητών.

---

## Bioethics of Bioastronautics

**George Profitiliotis**

PhD Candidate, Unit of Environmental Science and Technology, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, 9, Iroon Polytechniou St., Zographou Campus, 15773, Athens, Greece

### **Abstract**

The rise of emergent space initiatives -especially of private ones- has begun to push the boundaries of the space industry, thanks to technological innovations that will soon be able to significantly facilitate the development of previously neglected pioneering fields, such as, for example, space research and exploration, space resources utilization, and human access to space. The invigoration and the forthcoming growth of this new space economy in the aforementioned pioneering fields are expected to bring forward important bioethical issues. The purpose of this paper is to summarize the most important of these issues, after a review of a significant number of relevant publications in the international academic literature. In particular, this paper will present bioethical issues in the field of bioastronautics -especially in light of future missions to Mars- that refer to both life on Earth, i.e. microorganisms, plants, animals and humans, and to potential extraterrestrial life. Given the accelerating rate of developments, the best time to discuss these issues, in order to inform policymaking, is now.

**Keywords:** bioethics, bioastronautics, human spaceflight, astrobiology, planetary protection.

## Εισαγωγή

Η εμφάνιση αναδυόμενων πρωτοβουλιών στον τομέα του διαστήματος -και δη ιδιωτικών- έχει αρχίσει να επεκτείνει τα όρια της διαστημικής βιομηχανίας, χάρη σε τεχνολογικές καινοτομίες που σύντομα θα μπορούν να διευκολύνουν σημαντικά την ανάπτυξη πρωτοποριακών τομέων που είχαν παραμεληθεί στο παρελθόν, όπως είναι, για παράδειγμα, η επιστημονική έρευνα στο διάστημα [1], η εξερεύνηση του διαστήματος, η αξιοποίηση των πόρων του διαστήματος και η ανθρώπινη παρουσία στο διάστημα [2]. Όπως είναι φυσικό, οι πρώτες σχετικές επιχειρηματικές προσπάθειες θα αφορούν στο υποτροχιακό διάστημα και στη Χαμηλή Περίγεια Τροχιά (Low Earth Orbit), μέσω, για παράδειγμα, της λειτουργίας εμπορικών συστημάτων διασυνδεδεμένων στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού (International Space Station, ISS) [3-6]. Στο μέλλον, αναμένεται η επέκταση των σχετικών επιχειρηματικών προσπαθειών σε πιο απομακρυσμένους προορισμούς, όπως είναι η Σελήνη και ο Άρης. Η εμφάνιση ιδιωτικών πρωτοβουλιών σε αυτούς τους τομείς της διαστημικής βιομηχανίας φαίνεται να διαδραματίζει ήδη καίριο ρόλο στην αναζωογόνηση του κλάδου και στην αναζωπύρωση σχεδίων και ιδεών για το μέλλον της ανθρωπότητας στο διάστημα που είχαν περάσει σε κατάσταση αδράνειας.

Το 2019, η NASA προέπελεξε μέσω του προγράμματος “Commercial Lunar Payload Services” (CLPS) 14 αμερικανικές εταιρείες, με σκοπό να τους δώσει τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε μια ανταγωνιστική διαδικασία προσφοράς υπηρεσιών με συμβάσεις για τη μεταφορά φορτίων στην επιφάνεια της Σελήνης. Δύο εξ αυτών επιλέχθηκαν στις αρχές του 2020 για να μεταφέρουν φορτία δημόσιων και ιδιωτικών φορέων στην επιφάνεια της Σελήνης το 2021 [7]. Μεταξύ των 14 προεπιλεγμένων εταιρειών, υπάρχουν δύο οι οποίες έχουν δηλώσει πως οι διαστημοσυσσκευές τους θα δύνανται να χρησιμοποιηθούν και στην επιστροφή δειγμάτων από τη Σελήνη στη Γη: η Lockheed Martin με το McCandless Lunar Lander [8] και η Moon Express με το MX-9 Frontier Class Explorer [9]. Η Moon Express,

συγκεκριμένα, προετοιμάζεται να εκτελέσει την πρώτη της ιδιωτική αποστολή επιστροφής σεληνιακού δείγματος στο πλαίσιο του προγράμματος Harvest Moon 2020. Αυτά τα σεληνιακά δείγματα που θα επιστραφούν «θα αποτελούν το μοναδικό σεληνιακό υλικό υπό καθεστώς ιδιωτικής ιδιοκτησίας στη Γη και θα χρησιμοποιηθούν προς όφελος της επιστήμης, αλλά και προς όφελος εμπορικών επιδιώξεων» [10]. Επιπλέον, οι διαστημοσυσσκευές της οικογένειας MX της Moon Express, και δη το MX-9 Frontier Class Explorer που διαθέτει τη δυνατότητα υποστήριξης αποστολών επιστροφής σεληνιακού δείγματος, προωθούνται από την εταιρεία ως πλατφόρμες διαστημικής εξερεύνησης για τη Σελήνη και το βαθύ διάστημα [9]. Οι δηλώσεις αυτές φαίνεται να υποδεικνύουν ένα μακροπρόθεσμο όραμα επέκτασης της προσφερόμενης αξίας των υπηρεσιών προς το εγχείρημα της εμπορικής επιστροφής δειγμάτων από τον Άρη στο μέλλον. Η εμπορική επιστροφή δειγμάτων από τη Σελήνη και τον Άρη ρυθμίστηκε νομικώς στις ΗΠΑ μέσω του “United States Commercial Space Launch Competitiveness Act”, το οποίο ορίζει πως ένας ιδιωτικός οργανισμός των ΗΠΑ θα δικαιούται τα δικαιώματα ιδιοκτησίας οποιουδήποτε πόρου συλλέξει από το διάστημα, συμπεριλαμβανομένων και των δικαιωμάτων κατοχής, ιδιοκτησίας, μεταφοράς, χρήσης και πώλησης [11].

Δημοσιευμένες μελέτες έχουν διερευνήσει στο παρελθόν την εφικτότητα της αξιοποίησης αναδυόμενων ιδιωτικών συστημάτων επιστροφής δειγμάτων από τον Άρη στο πλαίσιο κάποιας κυβερνητικής αποστολής [12], καθώς και την εφικτότητα της επιχειρηματικής αξιοποίησης πολύτιμων δειγμάτων εδάφους του Άρη, μέσω της εμπορικής επιστροφής τους στη Γη, με σκοπό την εξασφάλιση εισοδήματος για τους κατοίκους ιδιωτικών εγκαταστάσεων στον Άρη, τουλάχιστον στα πρώιμα στάδια των αποστολών εκεί [13]. Επιπροσθέτως, η επιτυχημένη λειτουργία των Mars Cube One (MarCO) CubeSats της NASA στο πλαίσιο της πρώτης διαπλανητικής αποστολής που χρησιμοποίησε ποτέ τέτοιες διαστημοσυσσκευές [14] έχει αποδείξει την εφικτότητα αξιοποίησης μικρών συστημάτων για τη μη επανδρωμένη εξερεύνηση του Άρη, ανοίγοντας, πιθανώς, τον

δρόμο σε αντίστοιχες μελλοντικές ιδιωτικές αποστολές εκεί. Ο τομέας της ανθρώπινης παρουσίας στο διάστημα φαίνεται, τέλος, να αποτελεί τον επιθυμητό μακροπρόθεσμο στόχο ορισμένων ιδιωτικών εταιρειών που προετοιμάζονται για επανδρωμένες υποτροχιακές πτήσεις ιδιωτών [15,16] και για τουρισμό σε Χαμηλή Περίγεια Τροχιά [17,18], για συστήματα προσσελήνωσης πληρώματος [19], για επανδρωμένες περισελήνιες πτήσεις ιδιωτών [20] και για διαστημικούς σταθμούς με πλήρωμα σε τροχιά γύρω από τον Άρη [21] και στην επιφάνειά του [20].

Καθώς η αναζωογόνηση και η επερχόμενη ανάπτυξη αυτής της νέας διαστημικής οικονομίας στους πρωτοποριακούς τομείς της επιστημονικής έρευνας στο διάστημα, της εξερεύνησης του διαστήματος, της αξιοποίησης των πόρων του διαστήματος και της ανθρώπινης παρουσίας στο διάστημα αναμένεται να φέρουν στο προσκήνιο σημαντικά ζητήματα βιοηθικής, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρατεθούν συγκεντρωτικά τα κυριότερα εξ αυτών, μετά από την ανασκόπηση πλήθους σχετικών επιστημονικών δημοσιεύσεων της διεθνούς βιβλιογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν βιοηθικά ζητήματα σχετικά με τον τομέα της βιοαστροναυτικής -και δη υπό το πρίσμα των μελλοντικών αποστολών στον Άρη-, τα οποία θα αναφέρονται τόσο στη γήινη ζωή, δηλαδή στους μικροοργανισμούς, στα φυτά, στα ζώα και στον άνθρωπο, όσο και στην πιθανή εξωγήινη ζωή.

## Τα δεδομένα

Η Βιοαστροναυτική (Bioastronautics) είναι η τομή της διαστημικής επιστήμης και τεχνολογίας με τη βιολογία και τους ανθρώπινους παράγοντες (human factors). Περιλαμβάνει τις διαστημικές επιστήμες ζωής που αφορούν τόσο στην ανθρώπινη όσο και στη μη ανθρώπινη ζωή και εμπεριέχει τις εξής ενδεικτικές θεματικές περιοχές: τη διαστημική φυσιολογία, τη διαστημική ιατρική, τη διαστημική ψυχολογία, την ασφάλεια και την υποστήριξη ζωής -για τον άνθρωπο-, τη διαστημική βιολογία -για τους άλλους γήινους οργανισμούς-, αλλά και την αστροβιολογία -για την εξωγήινη ζωή-, την «Προστασία των

Πλανητών» από βιολογική επιμόλυνση και την ακτινοβιολογία [22].

Σύμφωνα με το “Global Exploration Roadmap” του 2018 [23] που παρήχθη μετά από τη συναίνεση των 14 διαστημικών υπηρεσιών που απαρτίζουν το International Space Exploration Coordination Group (ISECG), υπάρχει επιβεβαιωμένο ενδιαφέρον για την επέκταση της ανθρώπινης παρουσίας στο ηλιακό μας σύστημα, με την επιφάνεια του Άρη να αποτελεί τον κοινό επιθυμητό προορισμό. Αν και το Global Exploration Roadmap δεν έχει δεσμευτικό χαρακτήρα, εντούτοις αντανακλά μια συνεργατική διεθνή προσπάθεια προετοιμασίας για το μέλλον της διαστημικής εξερεύνησης. Αυτήν τη στιγμή, η ανθρώπινη παρουσία στο διάστημα περιορίζεται στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, ο οποίος κατοικείται από πλήρωμα αδιαλείπτως από το 2000 και χρησιμοποιείται ως εργαστήριο επιστημονικών ερευνών σε Χαμηλή Περίγεια Τροχιά. Αυτές οι επιστημονικές έρευνες διεξάγονται σε τροχιά για τους σκοπούς τόσο κυβερνητικών όσο και μη κυβερνητικών οργανισμών, γι’ αυτό εξάλλου και το Global Exploration Roadmap θεωρεί τις ιδιωτικές πρωτοβουλίες έναν σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης για την επέκταση της ανθρώπινης παρουσίας από τη Χαμηλή Περίγεια Τροχιά προς τη Σελήνη και τον Άρη. Πιο συγκεκριμένα, οι 14 διαστημικές υπηρεσίες που απαρτίζουν το ISECG, μεταξύ των οποίων η NASA και η ESA, υποστηρίζουν πως η μελλοντική λειτουργία του διαστημικού σταθμού “Gateway” σε περισελήνια τροχιά, ο οποίος αναμένεται περίπου στα μέσα της παρούσας δεκαετίας, θα λειτουργήσει καταλυτικά για την πραγμάτωση του απώτερου στόχου, δηλαδή των επανδρωμένων αποστολών στην επιφάνεια του Άρη, μετά το 2035.

Βεβαίως, το διαστημικό περιβάλλον ενέχει σημαντικές απειλές για τον άνθρωπο, πολλώ δε μάλλον στην περίπτωση μιας μακροχρόνιας αποστολής στον Άρη. Το πλήρωμα μιας τέτοιας αποστολής θα χρειαστεί να αντιμετωπίσει ποικίλες αντιξοότητες, τόσο εν πτήση προς και από τον πλανήτη όσο και στην επιφάνειά του. Οι αντιξοότητες αυτές περιλαμβάνουν τη μακροχρόνια έκθεση σε μικροβαρύτητα -εν πτήση- και σε μειωμένη βαρύτητα -στην επιφάνεια του πλανήτη-, τη μακροχρόνια έκθεση

σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας -και δη ιονίζουσας-, τη μακροχρόνια διαβίωση σε συνθήκες απομόνωσης και περιορισμού στο σκάφος μεταφοράς και στη βάση, την απουσία των βασικών γήινων οικοσυστημικών υπηρεσιών ανακύκλωσης των στερεών, υγρών και αέριων μεταβολικών αποβλήτων, προς ανάκτηση οξυγόνου, νερού και τροφής από αυτά, τη σκόνη του εδάφους της αρειανής επιφάνειας και, τέλος, τον βιολογικό κίνδυνο που μπορεί να προέλθει από πιθανούς αρειανούς μικροοργανισμούς [24,25].

Εν πρώτοις, αναφορικά με τις συνθήκες μειωμένης βαρύτητας [26,27], οι αστροναύτες υφίστανται διαφορετικές τιμές επιτάχυνσης βαρύτητας (g) ανάλογα με τον τόπο όπου συντελείται η αποστολή στην οποία συμμετέχουν. Επί παραδείγματι, η επιτάχυνση της βαρύτητας που βίωσαν οι αστροναύτες στην επιφάνεια της Σελήνης ήταν  $1.67\text{m/s}^2$ , δηλαδή το 17% της γήινης, ενώ αυτή που θα βιώσουν σε μια μελλοντική αποστολή στην επιφάνεια του Άρη θα είναι  $3.73\text{m/s}^2$ , δηλαδή το 38% της γήινης. Ειδικά στην περίπτωση των επανδρωμένων διαπλανητικών αποστολών, όπως και στην περίπτωση του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού, επικρατούν συνθήκες μικροβαρύτητας. Η αίσθηση της επίπλευσης (weightlessness) που βιώνουν οι αστροναύτες σε μικροβαρύτητα δεν οφείλεται σε μηδενισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας αλλά στην κατάσταση ελεύθερης πτώσης στην οποία βρίσκονται μονίμως όλα τα αντικείμενα που κινούνται σε τροχιές. Αυτήν την αίσθηση επίπλευσης θα βιώσουν και τα πληρώματα μιας επανδρωμένης αποστολής προς τον Άρη, ενώ στην επιφάνειά του θα βιώσουν τη μειωμένη βαρύτητα που αναφέρθηκε παραπάνω.

Αυτή η κατάσταση επίπλευσης που επικρατεί στο μικροβαρυτικό διαστημικό περιβάλλον επηρεάζει, όπως ήταν αναμενόμενο, τη φυσιολογία όλων των ζωντανών οργανισμών που έχουν εξελιχθεί στο επίγειο βαρυτικό περιβάλλον του 1 g. Μόλις βρεθεί στο διαστημικό μικροβαρυτικό περιβάλλον, το ανθρώπινο σώμα υφίσταται μια σειρά από νευρο-αισθητηριακές, καρδιαγγειακές και μυοσκελετικές αλλαγές που το βοηθούν να προσαρμοστεί σε αυτήν τη νέα κατάσταση ισορροπίας [26-28].

Περισσότεροι από τους μισούς αστροναύτες που έχουν βρεθεί σε μικροβαρυτικό περιβάλλον έχουν βιώσει τη ναυτία του διαστήματος (space motion sickness) ή το σύνδρομο προσαρμογής στο διάστημα (space adaptation syndrome) με συμπτώματα ζαλάδες και εμετούς. Αυτές οι επιπλοκές φαίνεται πως προκαλούνται από την παρερμηνεία των αλληλοσυγκρουόμενων αισθητηριακών και κιναισθητικών σημάτων από τον εγκέφαλο, η οποία οφείλεται στην παρακώλυση της φυσιολογικής λειτουργίας του αιθουσαίου συστήματος στο εσωτερικό του αυτιού εξαιτίας της μικροβαρύτητας. Μετά από μερικές μέρες στο διάστημα, ο εγκέφαλος μαθαίνει να ερμηνεύει σωστά τα ερεθίσματα που λαμβάνει από το νέο περιβάλλον του, και το αιθουσαίο σύστημα έρχεται σε μια νέα κατάσταση ισορροπίας, οδηγώντας έτσι τα προηγούμενα ανεπιθύμητα συμπτώματα σε εξάλειψη [26,27,29].

Επιπροσθέτως, αυτή η κατάσταση επίπλευσης προκαλεί μια ανακατανομή των ενδοαγγειακών και εξωαγγειακών υγρών από τα κάτω άκρα του σώματος των αστροναυτών προς το κεφάλι τους. Ο ομοιοστατικός μηχανισμός του ανθρώπινου σώματος προσαρμόζεται σε αυτήν την απότομη αύξηση της πίεσης στα ανώτερα άκρα με αύξηση της παραγόμενης ποσότητας ούρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συνολική μείωση των υγρών του σώματος, που οδηγεί σε μια συρρίκνωση του καρδιακού μυός έως και 10%, αλλά και της διαμέτρου των αιμοφόρων αγγείων, εξαιτίας του ελαττωμένου όγκου αίματος στο κυκλοφορικό σύστημα. Το κυκλοφορικό σύστημα προσαρμόζεται τελικά σε αυτές τις νέες συνθήκες με μια αύξηση του καρδιακού ρυθμού [26,27,30].

Τέλος, στο μικροβαρυτικό περιβάλλον η σπονδυλική στήλη υφίσταται μια επιμήκυνση αρκετών εκατοστών, εξαιτίας της απουσίας της φυσιολογικής βαρυτικής συμπίεσης των μεσοσπονδύλιων δίσκων, η οποία μπορεί να καταστεί αρκετά επίπονη για τους αστροναύτες. Εκτός αυτού, τα υπόλοιπα οστά και οι μύες των αστροναυτών ατροφούν με την πάροδο του χρόνου, εξαιτίας της απουσίας του φόρτου βάρους σε αυτό το περιβάλλον. Η μεγαλύτερη απώλεια μυϊκής μάζας συμβαίνει συνήθως κατά τη διάρκεια του πρώτου μήνα, ενώ η

οστεοπόρωση ξεκινά με αργό ρυθμό ήδη από την πρώτη εβδομάδα και επιταχύνεται σταδιακά με την πάροδο των μηνών, με μέση τιμή ρυθμού απώλειας οσβεστίου που αγγίζει το 0.5% ανά μήνα. Η μεγαλύτερη απώλεια οσβεστίου παρατηρείται στα υποστηρικτικά οστά και, αντίθετα με τις αλλοιώσεις της νευροαισθητηριακής και καρδιαγγειακής φυσιολογίας που αναφέρθηκαν παραπάνω, δεν μετριάζεται αυτόματα από κάποιον ομοιοστατικό μηχανισμό του ανθρώπινου σώματος. Παράλληλα με το οσβεστίο, όμως, ελαττώνεται και ο μυελός των οστών, προκαλώντας στους αστροναύτες τη λεγόμενη διαστημική αναιμία (space anemia) και, συνεπακόλουθα, μια μείωση των T-λεμφοκυττάρων. Μάλιστα, αυτή η εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος δύναται να υποσκάψει την άμυνα των αστροναυτών ενάντια σε πιθανές καρκινογενέσεις, οι οποίες ευνοούνται ιδιαίτερα από τις συνθήκες υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας που επικρατούν στο διαστημικό περιβάλλον και θα παρουσιαστούν ευθύς αμέσως [26,27,31].

Οποιοδήποτε αντικείμενο στο διάστημα βομβαρδίζεται διαρκώς από δύο είδη ακτινοβολιών: την ιονίζουσα ακτινοβολία και τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία. Η ιονίζουσα ακτινοβολία αποτελείται από σωματίδια και κύματα που φέρουν αρκετή ενέργεια ώστε να ιονίσουν τα άτομα και τα μόρια με τα οποία αλληλεπιδρούν. Αυτού του τύπου η ακτινοβολία είναι η πιο διατρητική από τα δύο είδη και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, καθώς μπορεί να επιφέρει τη μεγαλύτερη ζημιά τόσο στον υλικό εξοπλισμό όσο και στους ανθρώπινους ιστούς. Στο διαστημικό περιβάλλον που βρίσκεται κοντά στη Γη, οι αστροναύτες έρχονται σε επαφή με τρεις κυρίαρχες πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας: τα σωματίδια από ηλιακά γεγονότα, τις γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες και τις ζώνες Van Allen. Στην περίπτωση των αποστολών στον Άρη, οι αστροναύτες θα έρθουν σε επαφή με τις ζώνες Van Allen μόνο κατά την αναχώρησή τους από τη Γη και κατά την επιστροφή τους σε αυτήν, ενώ θα δέχονται ιονίζουσα ακτινοβολία από τις άλλες δύο πηγές καθ' όλη τη διάρκεια της αποστολής. Τα σωματίδια από ηλιακά γεγονότα, δηλαδή από ηλιακές εκλάμψεις ή ηλιακές στεμματικές εκτινάξεις μάζας, είναι κυρίως πρωτόνια, ηλεκτρόνια ή βαρείς ατομικοί

πυρήνες, τα οποία επιταχύνονται σε στάθμες ενέργειας που κυμαίνονται από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες MeV. Οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες προέρχονται από πηγές εκτός του ηλιακού μας συστήματος και αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια κατά βάση πρωτόνια, πυρήνες ηλίου και πυρήνες βαρέων ιόντων, όπως, για παράδειγμα, πυρήνες σιδήρου. Οι ακτίνες αυτές, εξαιτίας της εξαιρετικής διατρητικής τους ικανότητας, είναι αδύνατον να αναχαιτιστούν, και οι αστροναύτες τις υφίστανται σε μόνιμη βάση. Αυτή η αναπόφευκτη προσλαμβανόμενη ποσότητα ονομάζεται και δόση ακτινοβολίας υποβάθρου. Οι ζώνες Van Allen είναι δύο ομόκεντρες τοροειδείς χωρικές ζώνες εντός της γήινης μαγνητόσφαιρας που εμπεριέχουν παγιδευμένα σωματίδια υψηλών ενεργειών και περικλείουν τις περιοχές μεταξύ των δύο γήινων μαγνητικών πόλων. Τα σωματίδια που παγιδεύονται από το γήινο μαγνητικό πεδίο στις ζώνες Van Allen προέρχονται είτε από την ηλιακή δραστηριότητα, στην περίπτωση της εξωτερικής ζώνης, είτε από την αλληλεπίδραση της ανώτερης γήινης ατμόσφαιρας με την κοσμική ακτινοβολία [26,27].

Η συνδυασμένη πρόσληψη ιονίζουσας ακτινοβολίας των τριών παραπάνω πηγών από τους αστροναύτες στον διαστημικό χώρο δύναται να προκαλέσει δύο ειδών προβλήματα στον οργανισμό τους: οξείες επιπλοκές και χρόνιες επιπλοκές. Οι οξείες επιπλοκές εμφανίζονται συνήθως μέσα σε λίγες μέρες και οφείλονται σε σύντομης διάρκειας έκθεση του οργανισμού σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Τα συμπτώματα που εμφανίζουν οι αστροναύτες είναι η ναυτία και ο εμετός, που συνοδεύονται από ενοχλήσεις, απώλεια όρεξης για φαγητό και κόπωση. Μάλιστα, σε πολύ υψηλές δόσεις ακτινοβολίας, τα παραπάνω συμπτώματα ακολουθούνται από διάρροια, αιμορραγία και απώλεια μαλλιών μετά από μία λανθάνουσα περίοδο έως και δύο εβδομάδων. Από την άλλη, οι χρόνιες επιπλοκές εμφανίζονται συνήθως μετά από αρκετά έτη και οφείλονται σε μακροχρόνια έκθεση του οργανισμού σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Τα συμπτώματα αυτά περιλαμβάνουν καρκίνο του πνεύμονα, του στήθους, του γαστρεντερικού συστήματος, αλλά και λευχαιμία. Η πιθανότητα να αναπτύξει ένας

αστροναύτης τερματική μορφή καρκίνου, μάλιστα, αυξάνεται κατά 2-5% για κάθε 0.5J/kg ακτινοβολίας που δέχεται κατά τη διάρκεια της καριέρας του. Ένας αστροναύτης στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό δέχεται σε περίοδο έξι μηνών 80-160mJ/kg ακτινοβολίας. Συγκριτικά, η μέση ετήσια έκθεση σε ακτινοβολία για έναν άνθρωπο στην επιφάνεια της Γης είναι 3.5mJ/kg [26,27,32].

Μέσα σε αυτό το περιβάλλον μικροβαρύτητας και μειωμένης βαρύτητας αλλά και υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας, οι αστροναύτες καλούνται όχι μόνο να επιβιώσουν αλλά και να διατηρήσουν τον οργανισμό τους σε άψογη λειτουργική κατάσταση. Στη Γη, οι βασικές ανθρώπινες ανάγκες της κατάλληλης ατμόσφαιρας, του νερού, της τροφής και της απομάκρυνσης των στερεών, υγρών και αέριων μεταβολικών αποβλήτων καλύπτονται με φυσικό τρόπο από τις οικοσυστημικές υπηρεσίες που προσφέρει η βιόσφαιρα του πλανήτη στο διάστημα, αν και μακριά από τα επίγεια οικολογικά συστήματα, αυτές οι ανάγκες παραμένουν αμετάβλητες και πρέπει να καλυφθούν με τεχνητά μέσα. Οι βασικές απαιτήσεις για την εξασφάλιση της ανθρώπινης ευεξίας στο διαστημικό περιβάλλον καθορίζονται κατά περίπτωση από τους μεταβολικούς ρυθμούς που χαρακτηρίζουν αυτές τις ανάγκες σε κάθε άνθρωπο. Κατά μέσο όρο, ένας άνθρωπος μάζας 75kg χρειάζεται ετησίως το τετραπλάσιο της μάζας του σε οξυγόνο, το τριπλάσιο σε τροφή και το δεκαεπταπλάσιο σε πόσιμο νερό, ενώ για την υγιεινή του χρησιμοποιεί 127 φορές τη μάζα του σε νερό τα ετήσια παραγόμενα απόβλητα του μεταβολισμού του -στερεά, υγρά και αέρια- είναι της τάξεως των 11400kg [32-34].

Οι αστροναύτες καλούνται, επιπλέον, να διατηρήσουν τον εαυτό τους και σε άριστη ψυχολογική κατάσταση, προκειμένου να καταφέρουν να περατώσουν με επιτυχία τις εκάστοτε επιστημονικές αποστολές που τους έχουν ανατεθεί. Κατά τη διάρκεια μιας διαστημικής αποστολής, οι αστροναύτες θα πρέπει να ζήσουν σε ένα περιβάλλον απομόνωσης και περιορισμού (isolated and confined environment, ICE). Είναι γνωστό πως αυτά τα περιβάλλοντα μπορούν να προκαλέσουν ψυχολογικές επιπλοκές και να οδηγήσουν ακόμη

και σε προβλήματα σωματικής υγείας. Οι αστροναύτες είναι απομονωμένοι από τους φίλους τους, την οικογένειά τους και την υπόλοιπη κοινωνία. Ορισμένοι μπορεί να βιώσουν έντονα συναισθήματα μοναξιάς, φόβου, απώλειας χωρικού προσανατολισμού, καθώς και στρες, το οποίο ενισχύεται μάλιστα από την επικινδυνότητα του διαστημικού ταξιδιού και τον φόβο καταστροφικής βλάβης στον εξοπλισμό υποστήριξης ζωής. Άλλοι παράγοντες στρες είναι η έλλειψη ιδιωτικότητας, η αίσθηση απώλειας ελέγχου, η έλλειψη στενών συναισθηματικών σχέσεων και η απόσταση από τους αγαπημένους. Κατά τη διάρκεια μιας μακροχρόνιας αποστολής στον Άρη, το χρόνιο στρες μπορεί να προκαλέσει μειωμένη ενέργεια στους αστροναύτες, περιορισμό των διανοητικών τους ικανοτήτων, μειωμένη αποδοτικότητα, αυξημένη εχθρτικότητα, άγχος, διαταραχές ύπνου, προβληματική διαπροσωπική επικοινωνία και παρορμητικές συμπεριφορές [35].

Φυσικά, όταν φτάσουν στην επιφάνεια του Άρη, οι αστροναύτες θα κληθούν να αντιμετωπίσουν την πανταχού παρούσα σκόνη του εδάφους, η οποία μεταφέρεται από τα αέρια ρεύματα της εξαιρετικά αραιής ατμόσφαιρας. Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα της αποστολής “Viking” ήταν η ανακάλυψη αυτής της μικροσκοπικής σκόνης κόκκων διαφόρων διαμέτρων, οι οποίες κυμαίνονται από μικρότερες του 1μm μέχρι και μεγαλύτερες των 10μm. Αυτή η επίμονη λεπτή σκόνη που βρίσκεται παντού στο έδαφος και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη ευθύνεται για το κοκκινωπό του χρώμα και εμπεριέχει, μεταξύ άλλων, πολύ τοξικό εξασθενές χρώμιο και υπερχλωρικά άλατα. Αυτή η διαβρωτική και αντιδραστική σκόνη μπορεί να θέσει σε κίνδυνο όχι μόνο τον τεχνολογικό εξοπλισμό αλλά και την υγεία των αστροναυτών, ειδικά στην περίπτωση που την εισπνεύσουν. Μεταξύ των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της επαφής του ανθρώπου με την αρειανή σκόνη είναι τα αναπνευστικά προβλήματα, ο ερεθισμός του δέρματος και των οφθαλμών, η δημιουργία δευτερογενών χημικών ενώσεων μέσα στους πνεύμονες με επιβλαβείς συνέπειες, αλλά και η βλάβη του συστήματος του θυρεοειδούς. Ένας επιπλέον κίνδυνος που δεν σχετίζεται με τις

φυσικοχημικές ιδιότητες της σκόνης είναι και η πιθανή μεταφορά βιοεπικίνδυνων παραγόντων - και δη αναπαραγόμενων- πάνω στους κόκκους, δηλαδή η έκθεση των αστροναυτών σε πιθανούς εξωγήινους μικροοργανισμούς [36].

Αυτός ο βιολογικός κίνδυνος της επαφής με εξωγήινους μικροοργανισμούς -ή εν γένει με εξωγήινους αναπαραγόμενους βιοεπικίνδυνους παράγοντες- ονομάζεται κίνδυνος της «αντίστροφης επιμόλυνσης» (backward contamination). Το ζήτημα της αντίστροφης επιμόλυνσης, δηλαδή της επιμόλυνσης των αστροναυτών και της γήινης βιόσφαιρας με εξωγήινο βιολογικό υλικό, είναι ένα από τα δύο σκέλη τού προβλήματος που προσπαθούν να αντιμετωπίσουν οι κανονισμοί και οι πρακτικές της «Προστασίας των Πλανητών» (planetary protection)· το άλλο σκέλος αυτού του προβλήματος είναι το ζήτημα της «ευθείας επιμόλυνσης» (forward contamination), δηλαδή της επιμόλυνσης των άλλων ουρανίων σωμάτων με βιολογικό υλικό από τη Γη [37]. Προς το παρόν, ο επιστημονικός οργανισμός COSPAR (Committee On Space Research) είναι επιφορτισμένος με τη χάραξη και την προώθηση μιας ενδεικτικής πολιτικής Προστασίας των Πλανητών για την καθοδήγηση των ενδιαφερόμενων. Σύμφωνα με αυτήν την πολιτική του, ο COSPAR λαμβάνει πολύ σοβαρά υπόψη το ενδεχόμενο αντίστροφης επιμόλυνσης του πληρώματος με πιθανή εξωγήινη ζωή, προτείνοντας μάλιστα τη λήψη μέτρων καραντίνας κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της αποστολής για κάποιον αστροναύτη που έχει εκτεθεί σε τέτοιο βιολογικό παράγοντα, μιας και η προστασία της Γης από αντίστροφη επιμόλυνση θεωρείται ο σημαντικότερος στόχος της πολιτικής Προστασίας των Πλανητών κατά την εξερεύνηση του Άρη [38]. Σε αυτό συνηγορεί και το Άρθρο IX της «Συνθήκης για το Εξωατμοσφαιρικό Διάστημα» (Outer Space Treaty) των Ηνωμένων Εθνών, το οποίο ορίζει πως «οι επιζήμιες επιπτώσεις στο περιβάλλον της Γης που δύνανται να προκληθούν από την εισδοχή εξωγήινου υλικού» θα πρέπει να αποφεύγονται [39].

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως οι αστροναύτες είναι επίσης πηγές βιολογικού κινδύνου για το τοπικό αρειανό περιβάλλον. Οι

άνθρωποι φέρουν διαρκώς μικροβιακό φορτίο πάνω και μέσα στο σώμα τους. Αντίθετα με την περίπτωση των ρομποτικών διαστημοσυσκευών που έχουν σταλεί στον Άρη, οι αστροναύτες δεν μπορούν να υποστούν μείωση μικροβιακού φορτίου με τεχνικές απολύμανσης ή αποστείρωσης και θα αποτελούν μια διαρκή πηγή μικροβιακής επιμόλυνσης του πλανήτη. Οι στολές που παραδοσιακά φορούν οι αστροναύτες κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων εκτός σκάφους (extravehicular activities, EVA) προκειμένου να επιβιώσουν στο εχθρικό περιβάλλον τού διαστήματος διαθέτουν τη δική τους εσωτερική ατμόσφαιρα και μάλιστα σε πίεση κατά πολύ μεγαλύτερη από την πίεση της αραιής ή ανύπαρκτης ατμόσφαιρας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό, οι στολές EVA έχουν διαρκώς διαρροή αέρα προς το εξωτερικό περιβάλλον, ειδικά μέσω των μηχανικών αρθρώσεων που συνδέουν τα γάντια με την υπόλοιπη στολή. Υπάρχει, έτσι, ο κίνδυνος να μεταφερθούν γήινοι μικροοργανισμοί από το σώμα των αστροναυτών προς το περιβάλλον του Άρη μέσω αυτών των διαρροών [40,41]. Σύμφωνα με την πολιτική Προστασίας των Πλανητών που διατηρεί ο COSPAR, αυτή η ευθεία επιμόλυνση του Άρη θα πρέπει να αποφευχθεί, προκειμένου «να μην διακυβευτεί η διεξαγωγή επιστημονικών ερευνών σχετικά με πιθανές μορφές εξωγήινης ζωής, με πρόδρομες ενώσεις για την εξωγήινη ζωή και με υπολείμματα εξωγήινης ζωής» [38]. Παράλληλα, το Άρθρο IX της «Συνθήκης για το Εξωατμοσφαιρικό Διάστημα» ορίζει κάπως γενικότερα πως «η εξερεύνηση των ουρανίων σωμάτων θα πρέπει να γίνεται με τρόπο που να αποφεύγεται η επιζήμια επιμόλυνσή τους» [39]. Είναι εμφανές πως στην περίπτωση του COSPAR η πολιτική επικεντρώνεται κυρίως στην προστασία της επιστήμης της αναζήτησης ζωής, ενώ στην περίπτωση της «Συνθήκης για το Εξωατμοσφαιρικό Διάστημα» αφήνεται ανοιχτό το περιθώριο ερμηνείας. Αυτή η παρατήρηση υποδεικνύει ένα σημαντικό ζήτημα ηθικής που θα συζητηθεί, μεταξύ άλλων, στην επόμενη ενότητα.

## Τα ηθικά ζητήματα

### Γήινοι μικροοργανισμοί, Φυτά, Ζώα

Όπως προαναφέρθηκε, οι βασικές οικοσυστημικές υπηρεσίες της ανακύκλωσης των στερεών, υγρών και αέριων μεταβολικών αποβλήτων των αστροναυτών, προς ανάκτηση τροφής, νερού και οξυγόνου, δεν παρέχονται με φυσικό τρόπο έξω από τη γήινη βιόσφαιρα. Τα τεχνητά συστήματα που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν αυτές τις ανάγκες στο διάστημα ονομάζονται συστήματα υποστήριξης ζωής (life-support systems, LSS) [34]. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν, για την ώρα, αμιγώς φυσικοχημικές τεχνολογίες για τη διαχείριση των αποβλήτων και τη μερική ανάκτηση ορισμένων πόρων. Στην περίπτωση των μακροχρόνιων αποστολών στον Άρη, όμως, θα χρειαστεί να αξιοποιηθούν και βιολογικά μέσα για την κάλυψη αυτών των αναγκών με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο [42]. Σε αυτά τα υβριδικά συστήματα υποστήριξης ζωής, οι γήινοι μικροοργανισμοί και τα φυτά θα διαδραματίζουν καίριο ρόλο. Ήδη, τα διάφορα ερευνητικά προγράμματα που αναπτύσσουν τέτοια συστήματα παγκοσμίως μελετούν συγκεκριμένα είδη φυτών και στελέχη μικροοργανισμών προκειμένου να επιλέξουν τα πιο αποδοτικά εξ αυτών, με βάση τα ιδιαίτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, για να τα ενσωματώσουν σε μελλοντικά τεχνητά οικοσυστήματα. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα στην Ευρώπη είναι το ερευνητικό πρόγραμμα MELiSSA [43]. Εκτός, όμως, από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς που θα αποτελούν αναπόσπαστο κρίκο του τεχνητού ενδιαιτήματος των μελλοντικών αστροναυτών στον Άρη -και εκτός από το ανθρώπινο μικροβίωμα που, όπως προαναφέρθηκε, θα τους συνοδεύει παντού-, οι επιστήμες της βιοτεχνολογίας και της συνθετικής βιολογίας διερευνώνται ήδη ως εργαλεία για την τροποποίηση ή τη δημιουργία *de novo* μορφών ζωής με επιθυμητά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν επίσης να συνεισφέρουν στην επιβίωση του ανθρώπου σε αυτό το αφιλόξενο περιβάλλον μέσω πλήθους λειτουργιών, από την παραγωγή ιατροφαρμακευτικού υλικού και την

ανακύκλωση πόρων έως την παρασκευή καυσίμων, τσιμέντου και πολυμερών [44-46].

Από τα παραπάνω, φαίνεται πως ο άνθρωπος αντιμετωπίζει τους γήινους μικροοργανισμούς και τα φυτά στο διάστημα ως εργαλεία και υποσυστήματα που αναμένεται να συμπληρώσουν με τις λειτουργίες τους συνεργατικά τον άβιο τεχνολογικό εξοπλισμό. Στην περίπτωση των ζώων, όμως, αυτή η αντιμετώπιση διαφέρει. Από τις απαρχές των διαστημικών προγραμμάτων των ΗΠΑ και της Σοβιετικής Ένωσης, διάφορα είδη ζώων έχουν σταλεί στο διάστημα για πειραματισμό, μεταξύ άλλων και μύγες, κουνέλια, ποντίκια, σκύλοι και πρωτεύοντα. Στην αρχή, ο στόχος ήταν η συλλογή βιοϊατρικών δεδομένων για τις πιθανές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να έχουν στον άνθρωπο η ιονίζουσα ακτινοβολία και η μικροβαρύτητα, καθώς και η δοκιμή των πειραματικών συστημάτων εκτόξευσης, υποστήριξης ζωής και επιστροφής στη Γη που θα χρησιμοποιούνταν αργότερα για ανθρώπινα πληρώματα. Η μακροχρόνια χρήση ζώων -και δη πρωτευόντων- σε διαστημικά πειράματα οδήγησε, τελικά, στην άσκηση πίεσης από τους ακτιβιστές υπέρ των δικαιωμάτων των ζώων, κυρίως των PETA (People for the Ethical Treatment of Animals), αλλά και άλλων κοινωνικών ομάδων, οι οποίοι διαδήλωσαν κατά της κακομεταχείρισης πρωτευόντων και άλλων ζώων στα πειράματα των αποστολών του προγράμματος δορυφόρων "BION", πετυχαίνοντας το 1996 την απόσυρση της συμμετοχής της NASA από το συγκεκριμένο πρόγραμμα και τη δημοσίευση μέσα στο ίδιο έτος ενός εγγράφου καλών πρακτικών για την ευζωία των ζώων στη διαστημική έρευνα υπό τον τίτλο "NASA Principles for the Ethical Care and Use of Animals" (The Sundowner Principles). Από τότε και έπειτα, ο στόχος της χρήσης ζώων στη διαστημική έρευνα είναι πλέον η διερεύνηση των επιπτώσεων του διαστημικού περιβάλλοντος στις διάφορες βιολογικές διεργασίες, ενώ η ευζωία των ζώων είναι θεμελιώδης παράγοντας και πρέπει να ακολουθούνται οι καλές ηθικές πρακτικές που ισχύουν και στη Γη [47-50].

## Άνθρωποι

Τα πληρώματα των διαστημικών αποστολών είναι ταυτόχρονα πρωτοπόροι εξερευνητές και πειραματικά υποκείμενα που διακυβεύουν την ασφάλειά τους για να παρέχουν στην κοινωνία τη νέα γνώση που απαιτείται για τις μελλοντικές επανδρωμένες διαστημικές αποστολές, εξαιτίας της μοναδικής ευκαιρίας που δίνει στην επιστήμη το ιδιαίτερο επάγγελμά τους [49,51]. Παλιότερα, πριν το πρόγραμμα των “Space Shuttles”, τα βιοϊατρικά και ιατρικά δεδομένα των αστροναυτών δημοσιεύονταν μαζί με τα αναγνωριστικά τους, δηλαδή είτε μαζί με το όνομα είτε μαζί με τον ρόλο τους στο πλήρωμα [52]. Πλέον, για την προστασία των αστροναυτών κατά τη συμμετοχή τους σε έρευνες ως ερευνητικά υποκείμενα στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, ακολουθείται από όλους τους εταίρους του Σταθμού το Άρθρο VI του “Code of Conduct for the ISS Crew” του 2000, το οποίο απαιτεί έγγραφη έγκριση από το Human Research Multilateral Review Board και εν επιγνώσει συναίνεση από τους αστροναύτες για τη συμμετοχή τους στην έρευνα [53,54].

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την παραμονή τους στο διάστημα, τα σώματα των αστροναυτών προσαρμόζονται στο νέο περιβάλλον τους με τρόπους που συχνά καταλήγουν σε παθολογικές καταστάσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η έκθεση στην ιονίζουσα ακτινοβολία και οι αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει αυτή στην υγεία των αστροναυτών. Στην περίπτωση, μάλιστα, των μακροχρόνιων αποστολών στον Άρη, όλα αυτά τα παθολογικά προβλήματα θα ενταθούν. Γι’ αυτόν τον λόγο, ίσως κριθεί απαραίτητος για την ασφάλεια του πληρώματος ένας εξονυχιστικός προκαταρκτικός έλεγχος πριν την αποστολή, ίσως ακόμη και γενετικός έλεγχος, αλλά και η επισταμένη παρακολούθησή τους εν πτήση [55,56]. Ταυτόχρονα, κατά την αξιολόγηση μιας προτεινόμενης διαστημικής αποστολής θα πρέπει να γίνεται μια διάκριση μεταξύ του ηθελημένου και του μη ηθελημένου κινδύνου, μεταξύ του βραχυπρόθεσμου και του μακροπρόθεσμου κινδύνου, καθώς και μεταξύ του αναστρέψιμου και μη αναστρέψιμου κινδύνου [57]. Καθώς η φύση αρκετών κινδύνων για την υγεία των αστροναυτών είναι αβέβαιη ή

εντελώς άγνωστη, ενώ, παράλληλα, οι γνωστοί κίνδυνοι είναι ήδη αρκετοί, εγείρονται ζητήματα κατά την ανάπτυξη και την εφαρμογή συγκεκριμένων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας. Επιπροσθέτως, εγείρεται ακόμη και το ζήτημα της επάρκειας της εν επιγνώσει συναίνεσης των αστροναυτών, στην περίπτωση που οι επιπτώσεις της έκθεσης σε κάποιον κίνδυνο υπερβαίνουν τις προδιαγραφές σχετικά με το τι είναι αποδεκτό ή στην περίπτωση που υπάρχει σχετική αβεβαιότητα, δεδομένης και της ανεπαρκούς υποκειμενικής αξιολόγησης του κινδύνου από την πλευρά των αστροναυτών υπό καθεστώς ελλιπούς πληροφόρησης, καθώς και το ζήτημα του αν θα πρέπει να υπάρξει κάποια τροποποίηση ή διαστρωμάτωση των προδιαγραφών που να λαμβάνει υπόψη ακόμη και ατομικές ιδιαιτερότητες. Προκειμένου, μάλιστα, να αντιμετωπίσει αυτά τα ζητήματα, η NASA παροτρύνεται από τις Εθνικές Ακαδημίες Επιστημών των ΗΠΑ να ακολουθήσει τις αρχές του «ώφελειν», του «μη βλάπτειν», της ευνοϊκής εξισορρόπησης του κινδύνου και του οφέλους, του σεβασμού στην αυτονομία, της δικαιοσύνης και της αξιοπιστίας [58-60].

Σύμφωνα και με τα όσα παρουσιάστηκαν στην Εισαγωγή, υπάρχουν δύο τάσεις που αφορούν στον κλάδο της επανδρωμένης διαστημικής με πολύ ενδιαφέρουσες ηθικές προεκτάσεις: η παρουσία ιδιωτών στο διάστημα και οι μακροχρόνιες αποστολές στον Άρη.

Αναφορικά με την πρώτη τάση, αναμένεται να υπάρξουν ομάδες ανθρώπων που θα θελήσουν να έχουν πρόσβαση στο διάστημα χωρίς να είναι αστροναύτες κυβερνητικής διαστημικής υπηρεσίας, δηλαδή τουρίστες, μηχανικοί, τεχνικοί, ιδιώτες, υποστηρικτικό προσωπικό κ.ά. [61]. Αυτή η τάση εγείρει τα ζητήματα της συναίνεσης, της προστασίας των δεδομένων, της πλήρους πληροφόρησης και της αυτονομίας των επονομαζόμενων «συμμετεχόντων σε διαστημικές πτήσεις» (spaceflight participants, SFPs). Άλλα ζητήματα που εγείρονται σχετικά με τους SFPs είναι ζητήματα επαγγελματικής δεοντολογίας των σχετικών ιατρικών επαγγελματιών, η χρήση ανθρώπων σε μελέτες και επιστημονικά πειράματα, η διαχείριση των ιατρικών δεδομένων, η απομακρυσμένη ιατρική παρακολούθηση και ο κρίσιμος ρόλος των

συστημάτων υποστήριξης ζωής σε κάθε πτήση. Σημαντικό ζήτημα είναι και το γεγονός ότι η συναίνεση κάποιου SFP δεν μπορεί να ανακληθεί για πιθανές μακροχρόνιες επιπτώσεις. Επίσης, μιας και οι SFPs δεν θεωρούνται αστροναύτες, ίσως αντιμετωπιστούν διαφορετικά από τους ιδιωτικούς και δημόσιους φορείς, καθώς οι διεθνείς συνθήκες για το διάστημα επιτάσσουν συγκεκριμένη συμπεριφορά μόνο απέναντι στους αστροναύτες [62]. Φαίνεται, ακόμη, πως υπάρχουν σημαντικά κενά σχετικά με τις δραστηριότητες αξιολόγησης και εκπαίδευσης προ πτήσεως, την παροχή ιατρικής υποστήριξης εν πτήσει και τις δραστηριότητες αξιολόγησης μετά πτήσεως, καθώς δεν υπάρχουν για την ώρα οι κατάλληλες νομικές ρυθμίσεις και οι γενικές προδιαγραφές για την επιλογή ούτε των SFPs αλλά ούτε και του ιατρικού προσωπικού που θα τους αξιολογήσει και θα τους υποστηρίξει. Για την περίπτωση του διαστημικού τουρισμού στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, συγκεκριμένα, οι εταίροι συνέθεσαν το 2002 ένα σύνολο προδιαγραφών και διαδικασιών υπό τον τίτλο “Medical Standards and Certification Procedures for Spaceflight Participants”, ενώ η Federal Aviation Agency των ΗΠΑ έχει επίσης δημοσιεύσει ένα σημείωμα προς πληροφόρηση, υπό τον τίτλο “Guidance for Medical Screening of Commercial Aerospace Passengers”. Παρ’ όλα αυτά, εκπρόσωποι επαγγελματιών υγείας διεθνώς έχουν προτείνει την ανάπτυξη προτυποποιημένων εξετάσεων και διαδικασιών για αυτά τα ζητήματα, οι οποίες να είναι κοινές σε παγκόσμιο επίπεδο. Τέτοιες ενέργειες κρίνονται απαραίτητες για τη διασφάλιση των ηθικών ζητημάτων που αφορούν στους SFPs, καθώς έχει συζητηθεί ακόμη και το θέμα της εν επιγνώσει συναίνεσης SFPs για τη συμμετοχή τους σε φαρμακευτικές μελέτες στο διάστημα με σκοπό την εξασφάλιση εταιρικής χορηγίας για την πτήση, αλλά και το θέμα της εν επιγνώσει συναίνεσης για τη συμμετοχή ανηλίκων στην εγγενώς επικίνδυνη δραστηριότητα της διαστημικής πτήσης αμιγώς για διασκέδαση [63].

Αναφορικά με τη δεύτερη τάση, το διαστημικό περιβάλλον και οι συνθήκες διαβίωσης σε μακροχρόνιες αποστολές στον Άρη αναμένεται να προκαλέσουν σωματικά,

ψυχολογικά και κοινωνικά προβλήματα στους αστροναύτες, τα οποία με τη σειρά τους δύνανται να περιορίσουν την ελευθερία και την αυτονομία τους, αφού, εν πρώτοις, μετά την εκτόξευση δεν θα μπορούν να αποχωρήσουν από την αποστολή σε περίπτωση που το θελήσουν [61,64]. Μάλιστα, δεν είναι μόνο οι κίνδυνοι αυτοί καθ’ εαυτούς αλλά πολλώ μάλλον οι λύσεις αντιμετώπισής τους που εγείρουν ζητήματα ελευθερίας και αυτονομίας: η έλλειψη των βασικών οικοσυστημικών υπηρεσιών της γήινης βιόσφαιρας δημιουργεί μια μόνιμη εξάρτηση από το σύστημα υποστήριξης ζωής, η στενότητα των πόρων και του διαθέσιμου χώρου θέτει ένα αυστηρό πλαίσιο ελέγχου ζητημάτων αρχής και τέλους ζωής (λ.χ., διαχείριση εγκυμοσύνης ή θεραπεία ασθενούς με περιορισμένα ιατροφαρμακευτικά αναλώσιμα), τα υψηλά επίπεδα κινδύνων για την υγεία και τη ζωή εγείρουν την αναγκαιότητα διαρκούς παρακολούθησης βιοϊατρικών σημάτων και δεικτών, ενώ ορισμένοι ακαδημαϊκοί έχουν ήδη αρχίσει να διερευνούν τις ηθικές προεκτάσεις μιας πιθανής ανάγκης για επιλογή αστροναυτών με βάση ευνοϊκά χαρακτηριστικά της φυσιολογίας τους ή με βάση το φύλο τους, ακόμη και τη βελτίωσή τους σε γενετικό, σωματικό, γνωσιακό, συμπεριφορικό και ηθικό επίπεδο, με τη χρήση φαρμακευτικών, χειρουργικών, τεχνολογικών και γενετικών τεχνικών [45,65-78]. Ένα τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό ζήτημα είναι και ο κίνδυνος μόλυνσης των αστροναυτών με μικροοργανισμούς που ίσως υπάρχουν στον πλανήτη Άρη. Προκειμένου να αποφευχθεί η απελευθέρωση ενός τέτοιου βιοεπικίνδυνου παράγοντα στη Γη μέσω των ίδιων των αστροναυτών, ίσως χρειαστούν προληπτικά μέτρα καραντίνας, μιας και ο κίνδυνος της μόλυνσης είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί και να ποσοτικοποιηθεί. Το ζήτημα της καραντίνας γίνεται ακόμη πιο περίπλοκο στην περίπτωση των SFPs, αλλά και στην περίπτωση που κάποιο μέλος του πληρώματος εμφανίσει συμπτώματα ασθένειας εν πτήσει κατά την επιστροφή στη Γη. Ιδιαίτερα στην περίπτωση μιας επιβεβαιωμένης επικίνδυνης μόλυνσης, εγείρεται το ερώτημα της αναγκαιότητας ενεργοποίησης μόνιμων μέτρων καραντίνας για όλα τα μέλη του πληρώματος, το οποίο ουσιαστικά μετατρέπει τα ίδια τα μέλη σε

επιστρεφόμενα δείγματα προς επιστημονική έρευνα [61,78-81].

## Εξωγήινη ζωή

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, σύμφωνα με την ανθρωποκεντρική πολιτική της Προστασίας των Πλανητών, το αρειανό περιβάλλον θα πρέπει να διατηρηθεί παρθένο από επιμόλυνση με γήινους μικροοργανισμούς, με σκοπό να προφυλαχθεί το εγχείρημα της αναζήτησης εξωγήινης ζωής από ψευδή αποτελέσματα [38]. Εξαιτίας του ανθρωποκεντρισμού της, στο ενδεχόμενο της ανακάλυψης εξωγήινης ζωής, όμως, αυτή η πολιτική αδυνατεί να παρέχει καθοδήγηση αναφορικά με τη στάση μας απέναντί σε αυτήν τη ζωή και αναφορικά με τη διαχείρισή της εν γένει [82,83]. Προκειμένου να καλυφθεί αυτό το κενό εν όψει της ολοένα και αυξανόμενης πιθανότητας ανακάλυψης εξωγήινης ζωής στο άμεσο μέλλον, ο επιστημονικός οργανισμός COSPAR συγκάλωσε τον Ιούνιο του 2010 το “COSPAR Workshop on Ethical Considerations for Planetary Protection in Space Exploration”, με σκοπό να εξεταστεί το αν η πολιτική Προστασίας των Πλανητών θα έπρεπε να εμπλουτιστεί και να επεκταθεί με σκοπό την προστασία των πλανητικών περιβαλλόντων σύμφωνα με κάποιο ηθικό πλαίσιο που δεν θα προστατεύει μονάχα την επιστήμη της αναζήτησης ζωής. Μία από τις προτάσεις στις οποίες κατέληξε η διεπιστημονική ομάδα αυτού του Workshop ήταν και η «κατάλληλη προστασία της πιθανής εξωγήινης ζωής» [84]. Πέραν αυτής της πρότασης, αυτήν τη στιγμή, η ευρύτερη κοινότητα του κλάδου της διαστημικής επιστήμης δεν έχει καταλήξει ακόμη σε ομόφωνη συναίνεση. Ειδικά στην περίπτωση του Άρη, αυτή η απουσία συναίνεσης οφείλεται, αφ' ενός, στην αντιπαράθεση της αξίας της προστασίας της πιθανής εξωγήινης ζωής με την αξία των ανθρώπινων δραστηριοτήτων εκεί -και δη των ιδιωτικών εγχειρημάτων- και, αφ' ετέρου, στη θεμελιώδη διαφωνία σχετικά με το αν η πιθανή εξωγήινη ζωή έχει κάποιου είδους αξία και γενικότερα σχετικά με το ηθικό της καθεστώτος [85-87]. Τα ζητήματα ασυμφωνίας επί τού ηθικού καθεστώτος και επί της εγγενούς και χρηστικής αξίας της εξωγήινης ζωής, βεβαίως,

είναι απόρροιας διαφορετικών πλαισίων ηθικής φιλοσοφίας [88] που είναι δύσκολο, για την ώρα, να γεφυρωθούν, όπως φαίνεται και από τη σχετική βιβλιογραφία που παρατίθεται στα σχετικά ερωτήματα που παρουσιάζονται στην τελευταία ενότητα.

Παράλληλα, όμως, με τη φιλοσοφική διένεξη, διάφορες ιδιωτικές εταιρείες βρίσκονται ήδη στην πρακτική διαδικασία χάραξης στρατηγικής και προετοιμασίας των τεχνολογικών συστημάτων που θα επιτρέψουν τη δραστηριοποίησή τους στον Άρη, όπως συζητήθηκε στην Εισαγωγή, γεγονός το οποίο καθιστά επιτακτικότερη την ανάγκη εύρεσης μιας χρηστικής λύσης στον εν λόγω προβληματισμό. Η γνωστότερη και πιο ακραία μορφή ανθρώπινης παρέμβασης στο πλανητικό περιβάλλον του Άρη, με υπέρμαχους υψηλόβαθμα στελέχη ιδιωτικών οργανισμών, είναι η γεωπλασία (terraforming) μέρους ή ολόκληρου του Άρη, προκειμένου να καταστεί πιο φιλικός στη γήινη ζωή, η οποία έρχεται σε ευθεία σύγκρουση με τα συμφέροντα της πιθανής εξωγήινης ζωής εκεί και, βεβαίως, με την προστασία της [77,86,88-91]. Αντίστοιχα, αλλά σε μικρότερο βαθμό, τα εκτεταμένα οικιστικά συστήματα για τον αποικισμό του δύνανται επίσης να επηρεάσουν αρνητικά την πιθανή ενδημική ζωή, ιδιαίτερα στην περίπτωση των ιδιωτικών διαστημικών πρωτοβουλιών για ανθρώπινη δραστηριότητα εκεί, είτε επειδή οι χρηματοδότες αυτών των εγχειρημάτων θα θελήσουν να εκμεταλλευτούν κοιτάσματα νερού που ίσως φιλοξενούν ζωή είτε επειδή θα θελήσουν να αξιοποιήσουν βιοτεχνολογικά τη ζωή αυτή καθ' εαυτήν [85,87,92]. Προκειμένου να βρεθεί μια πρακτική ισορροπία μεταξύ των δύο ακραίων προφανών λύσεων, δηλαδή της πλήρους απαγόρευσης κάθε δραστηριότητας που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την πιθανή αρειανή ζωή και της πλήρως ελεύθερης ανθρώπινης παρέμβασης στο αρειανό περιβάλλον χωρίς καμία ευθύνη απέναντι στην πιθανή εξωγήινη ζωή, έχει προταθεί η διατήρηση πιθανών αντιπροσωπευτικών ενδημικών οικοσυστημάτων στον Άρη, με τη μορφή ενός συστήματος προστατευόμενων πάρκων, παράλληλα με την ανθρώπινη δραστηριοποίηση σε διαφορετικές ζώνες του πλανήτη [93-95]. Τέλος, μια άλλη πρόταση που δεν απαγορεύει την ανθρώπινη

παρέμβαση στον πλανήτη, αλλά την αντιμετωπίζει υπό το πρίσμα των συμφερόντων της πιθανής ενδημικής ζωής, είναι αυτή της «οικοποίησης» (ecopoiesis) του Άρη προς όφελος της πιθανής αρειανής ζωής, δηλαδή της τροποποίησης του πλανητικού του περιβάλλοντος με τρόπο που να αποκαθιστά παρελθοντικά οικοσυστήματα στον πλανήτη και να προστατεύει και να υποστηρίζει την ποικιλότητα και τον πλούτο της πιθανής ενδημικής ζωής, αποτρέποντας, παράλληλα, αυστηρά την επιτόπια ανάμιξή της με τη γήινη ζωή [96-98].

### Επίλογος

Στις προηγούμενες ενότητες, επιχειρήθηκε για πρώτη φορά μια συγκεντρωτική παρουσίαση των κυριότερων βιοηθικών ζητημάτων που είναι σχετικά με τον τομέα της βιοαστροναυτικής, ιδιαίτερα υπό το πρίσμα των μελλοντικών αποστολών στον Άρη, τα οποία αναφέρονται τόσο στη γήινη ζωή, δηλαδή στους μικροοργανισμούς, στα φυτά, στα ζώα και στον άνθρωπο, όσο και στην πιθανή εξωγήινη ζωή. Συμπερασματικά, από τα όσα παρουσιάστηκαν, φαίνεται πως τα ζητήματα αυτά αφορούν, από τη μία, σε γενικά ζητήματα βιοηθικής, τα οποία απαντώνται ευρέως και σε άλλες περιπτώσεις στη Γη (για παράδειγμα, τα ζητήματα αποδοχής του κινδύνου), και, από την άλλη, σε ειδικά ζητήματα βιοηθικής, τα οποία πηγάζουν εγγενώς από το συγκείμενο του διαστημικού περιβάλλοντος (για παράδειγμα, τα ζητήματα προστασίας της εξωγήινης ζωής) [99].

Συμπληρωματικά προς τα προαναφερθέντα και εν κατακλείδι, αξίζει να τεθούν εδώ, χάριν ανασκόπησης, ορισμένα ερωτήματα ηθικού περιεχομένου που πηγάζουν από σχετικούς προβληματισμούς και συλλογισμούς που έχουν διατυπωθεί στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία.

- Πρέπει να αντιμετωπίζουμε τα ζώα απλώς χρηστικά και ως ερευνητικά αντικείμενα ή και ως συντρόφους των αστροναυτών μας και ως απεσταλμένους μας; [48,59,100]
- Ποια θα πρέπει να είναι η στάση μας ως προς την εκούσια διασπορά γήινης ζωής σε άλλα ουράνια σώματα; [46,48,59,64,68,96,97,101-103]

- Αν στηρίζουμε την εκούσια διασπορά, ποια είδη ζωής θα επιλεγούν; [48,104]
- Ποιοι θα τα επιλέξουν; [48]
- Ποιος θα πρέπει να είναι ο προορισμός και το μέλλον αυτής της επέκτασης της ζωής πέρα από τη Γη; [48,103]
- Ποια θα πρέπει να είναι η στάση μας ως προς την εμπλοκή ανθρώπων σε μακροχρόνιες αποστολές υψηλού κινδύνου και, ιδίως, δίχως επιστροφή; [72,102,105-107]
- Πόσο επαρκεί η πληροφόρηση για τους κινδύνους και η αξιολόγησή τους για την εν επιγνώσει συναίνεση ενδιαφερόμενων ιδιωτών; [58-60,77].
- Αλλάζει το συγκείμενο του ακραίου περιβάλλοντος τις στάσεις μας σχετικά με τα παραδοσιακά ζητήματα βιοϊατρικής ηθικής (π.χ., βελτίωση, αρχή και τέλος ζωής); [45,65-78]
- Θα πρέπει να επιτραπεί η επιστροφή στη Γη αστροναυτών που φαίνεται να έχουν εκτεθεί σε άλλο πλανητικό περιβάλλον και εκδηλώνουν συμπτώματα ασθένειας; Αν ναι, υπό ποιες προϋποθέσεις; [61,78-81]
- Έχει η εξωγήινη ζωή εγγενή αξία; Ποιο είναι το ηθικό καθεστώς της; [60,64,68,78,85,88,108-115]
- Πρέπει η εξωγήινη ζωή να προστατευθεί; [45,60,68,77,86-89,93,105,109,110,112,116-118]
- Πώς αλλάζει η στάση μας ως προς τα προηγούμενα τρία ερωτήματα, αν πρόκειται για ζωή από δεύτερη γένεση, σε σχέση με το αν πρόκειται για ζωή συγγενική με τη γήινη ζωή; [96,113,119]
- Θα πρέπει να αποτρέψουμε την επιτόπια ανάμειξη της γήινης ζωής με την εξωγήινη ζωή; [96,120,121]
- Ποια θα πρέπει να είναι η στάση μας ως προς την εκούσια διασπορά της εξωγήινης ζωής σε άλλα ουράνια σώματα; [68,104]

Δεδομένης της αναζωογόνησης και της επερχόμενης ανάπτυξης των τομέων της επιστημονικής έρευνας στο διάστημα, της εξερεύνησης του διαστήματος, της αξιοποίησης των πόρων του διαστήματος και της ανθρώπινης παρουσίας στο διάστημα, φαίνεται πως η καταλληλότερη στιγμή να συζητηθούν αυτά τα ερωτήματα για να πληροφορήσουν τη χάραξη

των σχετικών πολιτικών δεν είναι ούτε στο βραχυπρόθεσμο, ούτε στο μεσοπρόθεσμο, ούτε στο μακροπρόθεσμο μέλλον η καταλληλότερη στιγμή είναι τώρα.

## Βιβλιογραφία

- González A. A Snapshot of Commercial Space: an EU Fellowship Report. University of Colorado Boulder, 2017.
- Vernile A. The Rise of Private Actors in the Space Sector. European Space Policy Institute, 2018.
- KIWI. KIWI: your ticket to microgravity. Διαθέσιμο στο <http://www.kiwi-microgravity.com/>. Accessed 26.1.2020.
- Space Applications Services NV/SA. ICE CUBES. Διαθέσιμο στο <http://www.icecubesservice.com/#whats-is>. Accessed 26.1.2020.
- ISS U.S. National Laboratory. Science in space to benefit life on Earth. Διαθέσιμο στο <https://www.issnationallab.org/>. Accessed 26.1.2020.
- Airbus Defence and Space GmbH. Bartolomeo. Διαθέσιμο στο: <https://www.airbus.com/space/space-infrastructures/bartolomeo.html>. Accessed 26.1.2020.
- NASA. First Commercial Moon Delivery Assignments to Advance Artemis. Διαθέσιμο στο <https://www.nasa.gov/feature/first-commercial-moon-delivery-assignments-to-advance-artemis>. Accessed 26.1.2020.
- Lockheed Martin Corporation. Lockheed Martin Selected for NASA's Commercial Lunar Lander Payload Services Contract. Διαθέσιμο στο <https://news.lockheedmartin.com/2018-11-29-Lockheed-Martin-Selected-for-NASA's-Commercial-Lunar-Lander-Payload-Services-Contract>. Accessed 26.1.2020.
- Moon Express. SCALABLE ROBOTIC SPACECRAFT. Διαθέσιμο στο <http://moonexpress.com/#explorers>. Accessed 25.1.2020.
- Moon Express. THREE MAIDEN EXPEDITIONS. Διαθέσιμο στο <http://moonexpress.com/#expeditions>. Accessed 25.1.2020.
- Loder RE. Asteroid Mining: Ecological Jurisprudence beyond Earth. Virginia Environmental Law Journal. 2018, 36: 275-317.
- Gonzales AA, Stoker CR. An efficient approach for Mars Sample Return using emerging commercial capabilities. Acta Astronautica. 2016, 123: 16-25.
- Entrena Utrilla CM, Welch C. Development Roadmap and Business Case for a Private Mars Settlement. New Space. 2017, 5: 170-185.
- NASA/JPL. Beyond Mars, the Mini MarCO Spacecraft Fall Silent. Διαθέσιμο στο <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=7327>. Accessed 26.1.2020.
- Blue Origin. Suborbital Spaceflight: New Shepard. Διαθέσιμο στο <https://www.blueorigin.com/new-shepard/>. Accessed 26.1.2020.
- Virgin Galactic. Mission: What We Do. Διαθέσιμο στο <https://www.virgingalactic.com/mission/>. Accessed 26.1.2020.
- Axiom Space. Space Tourism. Διαθέσιμο στο <https://axiomspace.com/space-tourism/>. Accessed 26.1.2020.
- Forbes.com. Mankind's First Space Hotel Is Coming In 2021 - Probably. Διαθέσιμο στο: <https://www.forbes.com/sites/duncanmadde/n/2018/03/09/mankinds-first-space-hotel-is-coming-in-2021-probably/>. Accessed 26.1.2020.
- Blue Origin. Lunar Transport: Blue Moon. Διαθέσιμο στο <https://www.blueorigin.com/blue-moon>. Accessed 26.1.2020.
- SpaceX. Missions to Mars. Διαθέσιμο στο <https://www.spacex.com/mars>. Accessed 26.1.2020.
- Lockheed Martin Corporation. Mars Base Camp. Διαθέσιμο στο <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/mars-base-camp.html>. Accessed 26.1.2020.
- Young LR. Bioastronautics: Definition and Scope. In: Young L, Sutton J (editors)

- Encyclopedia of Bioastronautics. Springer, Cham, 2017: 1-2.
23. ISECG. The Global Exploration Roadmap. ISECG, 2018.
  24. Horneck G, Facius R, Reichert M, et al. HUMEX, a study on the survivability and adaptation of humans to long-duration exploratory missions, part II: missions to Mars. *Advances in Space Research*. 2006, 38: 752-759.
  25. Horneck G, Facius R, Reitz G, Rettberg P, Baumstark-Khan C, Gerzer R. Critical issues in connection with human missions to Mars: protection of and from the Martian environment. *Advances in Space Research*. 2003, 31: 87-95.
  26. Norberg C. The space environment. In: Norberg C (ed) *Human Spaceflight and Exploration*. Springer-Verlag, Berlin, 2013: 65-120.
  27. Eckart P. The extraterrestrial environment. *Spaceflight Life Support and Biospherics*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 1996: 39-78.
  28. Clément G. Space Biology. *Fundamentals of Space Medicine*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 2011: 45-94.
  29. Clément G. The Neuro-Sensory System in Space. *Fundamentals of Space Medicine*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 2011: 95-142.
  30. Clément G. The Cardio-Vascular System in Space. *Fundamentals of Space Medicine*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 2011: 143-180.
  31. Clément G. The Musculo-Skeletal System in Space. *Fundamentals of Space Medicine*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 2011: 181-216.
  32. Clément G. Life Support Systems. *Fundamentals of Space Medicine*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 2011: 305-340.
  33. Skoog AI. Life support systems. In: Norberg C (ed) *Human Spaceflight and Exploration*. Springer-Verlag, Berlin, 2013: 161-207.
  34. Eckart P. *Fundamentals of Life Support Systems*. *Spaceflight Life Support and Biospherics*. 2nd ed. Springer Science+ Business Media, Dordrecht, 1996: 79-174.
  35. Wickman L, Tsai A, Walters R. Isolation and Confinement Issues in Long Duration Spaceflight. Paper presented at: 2008 IEEE Aerospace Conference, 1-8 March 2008 , Big Sky, MT, USA.
  36. Levine JS. Chapter One. Dust in the Atmosphere of Mars and its Impact on Human Exploration: Defining the Problems. In: Levine JS, Winterhalter D, Kerschmann RL (editors) *Dust in the Atmosphere of Mars and its Impact on Human Exploration*. Cambridge Scholars Publishing, 2018: 1-21.
  37. Frick A, Mogul R, Stabekis P, Conley CA, Ehrenfreund P. Overview of current capabilities and research and technology developments for planetary protection. *Advances in Space Research*. 2014, 54: 221-240.
  38. Kminek G, Conley C, Hipkin V, Yano H. COSPAR's Planetary Protection Policy. COSPAR, 2017.
  39. UNODA. Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies. Διαθέσιμο στο [http://disarmament.un.org/treaties/t/outer\\_space](http://disarmament.un.org/treaties/t/outer_space). Accessed 26.1.2020.
  40. Rucker MA, Hood D, Walker M, Venkateswaran KJ, Schuerger AC. EVA swab tool to support planetary protection and astrobiology evaluations. Paper presented at: 2018 IEEE Aerospace Conference, 3-10 March 2018, Big Sky, MT, USA.
  41. Groemer GE, Storrie-Lombardi M, Sattler B, et al. Reducing biological contamination by a space suited astronaut: Laboratory and field test results from Aouda X. *Acta Astronautica*. 2011, 68: 218-225.
  42. Shaw MM, de Weck OL. *An Analysis of Hybrid Life Support Systems For Sustainable Habitats*. MIT, 2014.
  43. Lasseur C, Brunet J, De Weever H, et al. MELiSSA: the European project of closed life support system. *Gravitational and Space Research*. 2010, 23: 3-12.
  44. Menezes AA, Montague MG, Cumbers J, Hogan JA, Arkin AP. Grand challenges in

- space synthetic biology. *Journal of The Royal Society Interface*. 2015, 12: 20150803.
45. Legato MJ. Personalized Medicine and the Icarus Project: Ethical and Moral Issues in Sending Humans into Space. *Gender and the Genome*. 2019, 3: 1-3.
  46. Sparrow R. Terraforming, vandalism, and virtue ethics. In: Galliot J (ed) *Commercial Space Exploration: Ethics, Policy and Governance*. Routledge, New York, 2015: 161-178.
  47. NASA. NASA Policy Directive 8910.1C - Subject: Care and Use of Animals. Διαθέσιμο στο: [https://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal\\_ID=N\\_PD\\_8910\\_001C\\_](https://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal_ID=N_PD_8910_001C_). Accessed 26.1.2020.
  48. Damjanov K. Accounting for non-humans in space exploration. *Space Policy*. 2018, 43:18-23.
  49. Zoloth L. The Ethics of Human Spaceflight. In: Garber SJ (ed) *Looking Backward, Looking Forward: Forty Years of US Human Spaceflight Symposium*. NASA History Office, 2002: 165-188.
  50. Nicogossian AE, Doarn CR, Hu Y. Evolution of human capabilities and space medicine. In: Nicogossian AE, Williams RS, Huntoon CL, Doarn CR, Polk JD, Schneider VS (editors) *Space Physiology and Medicine*. Springer, New York, 2016: 3-57.
  51. Lin P. Look before taking another leap for mankind—Ethical and social considerations in rebuilding society in space. *Astropolitics*. 2006, 4: 281-294.
  52. Nicogossian AE, Williams RS, Huntoon CL, Doarn. Living and working in space: An overview of physiological adaptation, performance, and health risks. In: Nicogossian AE, Williams RS, Huntoon CL, Doarn CR, Polk JD, Schneider VS (editors) *Space Physiology and Medicine*. Springer, New York, 2016: 99-134.
  53. Greenstone AF. Ethics and public integrity in space exploration. *Acta Astronautica*. 2018, 143: 322-326.
  54. Pestov ID. Features of the Bioethical Regulation of Human Studies in Aerospace and Maritime Medicine. *Human Physiology*. 2003, 29:522-526.
  55. Galts C. A journey to Mars: The medical challenges associated with deep space travel and possible solutions. *University of British Columbia Medical Journal*. 2017, 8:38-39.
  56. Reed RD, Antonsen EL. Should NASA Collect Astronauts' Genetic Information for Occupational Surveillance and Research? *AMA journal of ethics*. 2018, 20: 849-856.
  57. Langston SM. Space travel: risk, ethics, and governance in commercial human spaceflight. *New Space*. 2016, 4: 83-97.
  58. Kahn JP, Liverman CT, McCoy MA (editors) *Health standards for long duration and exploration spaceflight: ethics principles, responsibilities, and decision framework*. National Academies Press; 2014.
  59. Arnould J. *Exploration. Icarus' Second Chance*. Springer, Vienna, 2011: 133-153
  60. Schwartz JS, Milligan T. Introduction. In: Milligan T, Schwartz JS (editors) *The Ethics of Space Exploration*. Springer, Cham, 2016: 1-11.
  61. Cain JR. The Meaning of Liberty Beyond Earth. In: Cockell CS (editors) *Astronaut health-planetary exploration and the limitations on freedom*. Springer, Cham, 2015: 139-163.
  62. Langston SM. Commercial space travel understanding the legal, ethical and medical implications for commercial spaceflight participants and crew. Paper presented at: 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), 19-22 June 2017, Istanbul, Turkey.
  63. Langston S, Galliot J. Space medicine: bioethical and legal implications for commercial human spaceflight. In: Galliot J (editors) *Commercial Space Exploration: Ethics, Policy and Governance*. Routledge, New York, 2015: 227-242.
  64. Chon-Torres OA. Disciplinary nature of astrobiology and astrobioethic's epistemic foundations. *International Journal of Astrobiology*. 2018:1-8.
  65. Szocik K, Wójtowicz T, Rappaport MB, Corbally C. *Futures. Ethical issues of*

- human enhancements for space missions to Mars and beyond. 2020, 115: 102489.
66. Szocik K, Marques RE, Abood S, Kędzior A, Lysenko-Ryba K, Minich D. Biological and social challenges of human reproduction in a long-term Mars base. *Futures*. 2018, 100: 56-62.
  67. Szocik K, Norman Z, Reiss MJ. Ethical Challenges in Human Space Missions: A Space Refuge, Scientific Value, and Human Gene Editing for Space. *Science and Engineering Ethics*. 2019: 1-19.
  68. Szocik K, Wójtowicz T, Rappaport MB, Corbally C. Ethical issues of human enhancements for space missions to Mars and beyond. *Futures*. 2020, 115: 102489.
  69. Szocik K, Wójtowicz T. Human enhancement in space missions: From moral controversy to technological duty. *Technology in Society*. 2019, 59: 101156.
  70. Szocik K. Human Future in Space and Gene Editing: Waiting for Feminist Space Ethics and Feminist Space Philosophy. *Theology and Science*. 2019: 1-4.
  71. Schuster H, Peck SL. Mars ain't the kind of place to raise your kid: Ethical implications of pregnancy on missions to colonize other planets. *Life sciences, Society and Policy*. 2016, 12: 1-8.
  72. Koepsell D. Mars One: Human Subject Concerns? *Astropolitics*. 2017, 15: 97-111.
  73. Pass J. Medical Astrosociology: Ethical Dilemmas in Space Environments. Paper presented at: AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition, 14-17 September 2009, Pasadena, California.
  74. Tachibana K. Workplace in Space: Space Neuroscience and Performance Management in Terrestrial Environments. In: Martineau JT, Racine E (editors) *Organizational Neuroethics*. Springer, Cham, 2020: 235-255.
  75. Ball CG, Kirkpatrick AW, Williams DR, et al. Prophylactic surgery prior to extended-duration space flight: Is the benefit worth the risk? *Canadian Journal of Surgery*. 2012, 55: 125-131.
  76. Seedhouse E. Appendix: The Interplanetary Bioethics Manual. *Trailblazing Medicine: Sustaining Explorers During Interplanetary Missions*. Springer Science+Business Media, New York, 2011: 173-178.
  77. Levchenko I, Xu S, Mazouffre S, Keidar M, Bazaka K. Mars colonization: beyond getting there. *Global Challenges*. 2019, 3: 1800062.
  78. Abney K, Lin P. Enhancing Astronauts: The Ethical, Legal and Social Implications. In: Galliot J, (ed) *Commercial Space Exploration: Ethics, Policy and Governance*. Routledge, New York, 2015: 245-269.
  79. Arnould J. *Invaders. Icarus' Second Chance*. Springer, Vienna, 2011: 155-177.
  80. Arnould J, Debus A. An ethical approach to planetary protection. *Advances in Space Research*. 2008, 42: 1089-1095.
  81. Arnould J. From Quarantine to Exploration: Space Agencies and the Ethical Challenge of Astrobiology. *Astropolitics*. 2012, 10: 176-182.
  82. Race MS, Randolph RO. The need for operating guidelines and a decision making framework applicable to the discovery of non-intelligent extraterrestrial life. *Advances in Space Research*. 2002, 30: 1583-1591.
  83. Dick SJ. *Astropolicy: Preparing for Discovery. Astrobiology, discovery, and societal impact*. Cambridge University Press, 2018: 269-302.
  84. Rummel JD, Race MS, Horneck G. Ethical considerations for planetary protection in space exploration: a Workshop. *Astrobiology*. 2012, 12: 1017-1023.
  85. A philosophical outlook on potential conflicts between planetary protection, astrobiology and commercial use of space. In: Lehmann Imfeld Z, Losch A (editors) *Our Common Cosmos: Exploring the Future of Theology, Human Culture and Space Sciences*. Bloomsbury, London, 2018: 141-160.
  86. Kendal E. 'No Conscience of Its Own': The Need for Global Space Ethics Review. In: Schmidt N, (ed) *Planetary Defense*. Springer, Cham, 2019: 261-274.
  87. Kramer WR. Colonizing mars—An opportunity for reconsidering bioethical standards and obligations to future generations. *Futures*. 2011, 43: 545-551.

88. Haqq-Misra J. An ecological compass for planetary engineering. *Astrobiology*. 2012, 12: 985-997.
89. Daly EM, Frodeman R. Separated at birth, signs of rapprochement: environmental ethics and space exploration. *Ethics and the Environment*. 2008, 13: 131-151.
90. Palhares D, dos Santos ÍA. Astronomic Bioethics: Terraforming X Planetary protection. *Bangladesh Journal of Bioethics*. 2017, 8: 1-10.
91. Schwartz JS. On the Moral Permissibility of Terraforming. *Ethics and the Environment*. 2013, 18: 1-34.
92. Cockell C. Ethics and Extraterrestrial Life. In: Remuss NL, Schrogl KU, Worms JC, Landfester U (eds) *Humans in Outer Space - Interdisciplinary Perspectives*. Springer, New York, 2011: 80-101.
93. Cockell CS. Duties to extraterrestrial microscopic organisms. *Journal of the British Interplanetary Society*. 2005, 58: 367-373.
94. Cockell CS, Horneck G. Planetary parks—formulating a wilderness policy for planetary bodies. *Space Policy*. 2006, 22: 256-261.
95. Cockell C, Horneck G. A planetary park system for Mars. *Space Policy*. 2004, 20: 291-295.
96. McKay CP. Prerequisites to human activity on mars: Scientific and ethical aspects. *Theology and Science*. 2019, 17: 317-323.
97. Johnson AR. Biodiversity requirements for self-sustaining space colonies. *Futures*. 2019, 117: 24-27.
98. McKay CP. Planetary ecosynthesis on Mars: restoration ecology and environmental ethics. In: Bertka CM (ed) *Exploring the origin, extent, and future of life: Philosophical, ethical, and theological perspectives*. Cambridge University Press, 2009: 245-260.
99. Milligan T. Basic Methodology for Space Ethics. In: Russomano T, Rehnberg L (editors) *Into Space: A Journey of How Humans Adapt and Live in Microgravity*. IntechOpen, London, 2018: 17-29.
100. Johnson J. Vulnerable Cargo: The Sacrifice of Animal Astronauts. In: Galliot J (ed) *Commercial Space Exploration: Ethics, Policy and Governance*. Routledge, New York, 2015: 259-270.
101. Makukov MA. Space ethics to test directed panspermia. *Life Sciences in Space Research*. 2014, 3: 10-17.
102. Chon-Torres OA. Astroethics. *International Journal of Astrobiology*. 2018, 17: 51-56.
103. Ketcham C. Towards an ethics of life. *Space Policy*. 2016, 38: 48-56.
104. Milligan T. Common origins and the ethics of planetary seeding. *International Journal of Astrobiology*. 2016, 15: 301-306.
105. Teeney ML, Eilingsfeld MA, Kasaboski MD, et al. One-Way Missions to Mars. Paper presented at: 65th International Astronautical Congress, 29 September - 3 October 2014, Toronto, Canada.
106. Green BP. Self-preservation should be humankind's first ethical priority and therefore rapid space settlement is necessary. *Futures*. 2019, 110: 35-37.
107. Traphagan JW. Which humanity would space colonization save? *Futures*. 2019, 110: 47-49.
108. Schwartz JS. On the methodology of space ethics. In: Schwartz J, Milligan T (editors) *The Ethics of Space Exploration*. Springer, Cham, 2016: 93-107.
109. Peters T. Ten Ethical Issues in Exploring Our Solar Ghetto. *Journal of Astrobiology & Outreach*. 2016, 4: 1-8.
110. Peters T. Toward a Galactic Common Good: Space Exploration Ethics. In: Boonin D (ed) *The Palgrave Handbook of Philosophy and Public Policy*. Palgrave Macmillan, Cham, 2018: 827-843.
111. Wilson E, Cleland CE. The moral subject of astrobiology Guideposts for exploring our ethical and political responsibilities towards extraterrestrial life. In: Dick SJ (ed) *The Impact of Discovering Life Beyond Earth*. Cambridge University Press, 2016: 207-221.
112. Peters T. Does extraterrestrial life have intrinsic value? An exploration in responsibility ethics. *International Journal of Astrobiology*. 2019, 18: 304-310.
113. Cockell CS. The ethical status of microbial life on earth and elsewhere: In defence of

- intrinsic value. In: Schwartz J, Milligan T (editors) *The ethics of space exploration*. Springer, Cham, 2016: 167-179.
114. Persson E. The moral status of extraterrestrial life. *Astrobiology*. 2012, 12: 976-984.
115. Persson E. What does it take to establish that a world is uninhabited prior to exploitation? A question of ethics as well as science. *Challenges*. 2014, 5: 224-238.
116. Williamson M. Space ethics and protection of the space environment. *Space Policy*. 2003, 19: 47-52.
117. Chon-Torres OA. Moral challenges of going to Mars under the presence of non-intelligent life scenario. *International Journal of Astrobiology*. 2020, 19: 49-52.
118. Sherwood B, Ponce A, Waltemathe M. Forward contamination of ocean worlds: a stakeholder conversation. *Space Policy*. 2019, 48: 1-13.
119. Lupisella M. The search for extraterrestrial life: epistemology, ethics, and worldviews. In: Bertka CM (ed) *Exploring the origin, extent, and future of life: Philosophical, ethical and theological perspectives*. Cambridge University Press, 2009: 186-204.
120. Race MS, Moses J, McKay C, Venkateswaran KJ. Synthetic biology in space: considering the broad societal and ethical implications. *International Journal of Astrobiology*. 2012, 11: 133-139.
121. Goh GM, Kazeminejad B. Mars through the looking glass: an interdisciplinary analysis of forward and backward contamination. *Space Policy*. 2004, 20: 217-225.