

Βιβλιοπαρουσίαση: Επινοώντας τον εαυτό μας

Στο έργο *Επινοώντας τον εαυτό μας*, το οποίο κυκλοφορεί από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2022), η Σάρα-Τζέιν Μπλέικμορ επιχειρεί να δώσει απαντήσεις που αφορούν τον εφηβικό εγκέφαλο.

ΣΕΛΙΔΑ 8



Η επιστήμη της κλιματικής αλλαγής. Από τις πρώτες διαπιστώσεις στις σημερινή περιβαλλοντική κρίση

Η μελέτη του κλίματος είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας του ανθρώπου. Ωστόσο, πριν από κάποιες δεκαετίες, φάνταζε αδιανόητο ότι ο άνθρωπος μπορεί να επηρεάσει με τις ενέργειές του το κλίμα της Γης στο σύνολό της και σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα.

ΣΕΛΙΔΕΣ 4-5

Πλαστικά από διοξείδιο του άνθρακα: μια εναλλακτική στρατηγική κατά της κλιματικής αλλαγής

Τα τελευταία χρόνια κερδίζει έδαφος η δημιουργία πλαστικών από το κυρίαρχο αέριο του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα. Πάνω από μια δεκαετία ερευνητικές ομάδες εργάζονται σε αυτό το επιστημονικό αντικείμενο και η όλη προσπάθεια έχει αρχίσει να αποδίδει καρπούς.

ΣΕΛΙΔΑ 6

Πρακτικές οδηγίες για πιο αξιόπιστη έρευνα

Παραφράζοντας το απόφθεγμα πασίγνωστης κινηματογραφικής ταινίας, υπάρχει διαφορά στο να γνωρίζεις τι είναι ακεραιότητα στην έρευνα και στο να την εφαρμόζεις στην καθημερινή σου δουλειά. Το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα SOPs4RI προσφέρει μία δομημένη συλλογή καλών πρακτικών που βοηθούν την ερευνητική κοινότητα ακριβώς στο δεύτερο.

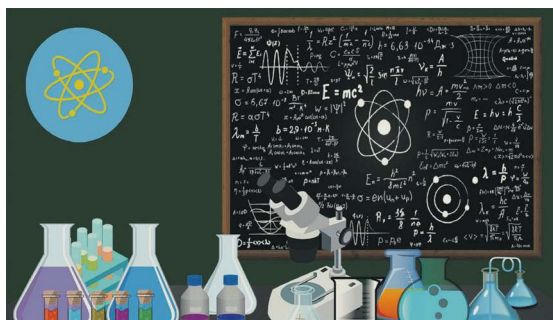
ΣΕΛΙΔΑ 7

Η πρώτη δοκιμή πλανητικής άμυνας: πρόσκρουση διαστημικού σκάφους σε αστεροειδή



Στις 26 Σεπτεμβρίου 2022 το σκάφος DART προσέκρουσε πάνω στον αστεροειδή Δίμορφο με σκοπό να μεταβάλει την τροχιά του. Ήταν η πρώτη δοκιμή μιας μεθόδου πλανητικής άμυνας και ένα πολύ σημαντικό βήμα της ανθρωπότητας για την προστασία της από μια πιθανή πρόσκρουση μετεωρίτη.

ΣΕΛΙΔΕΣ 2-3



Σοφία

Ο JEAN LE ROND D'ALEMBERT υπήρξε εξέχων μαθηματικός και ένας από τους χαρακτηριστικότερους εκφραστές του Γαλλικού Διαφωτισμού. Σε ένα άρθρο του για την «πειραματική φιλοσοφία» που περιλαμβάνεται στην περίφημη *Εγκυκλοπαίδεια* κάνει μια ενδιαφέρουσα δήλωση. Είναι κρίμα, γράφει, που δεν μπορούμε να συλλάβουμε την πραγματικότητα ενορατικά: να συλλάβουμε, δηλαδή, τα φαινόμενα *μαζί με τις αιτίες τους*. Αυτή η αδυναμία έχει να κάνει με τους περιορισμούς των νοητικών ικανοτήτων του ανθρώπου, γι' αυτό είναι ανυπέρβλητη. Έτσι, αναγκαζόμαστε να καταφύγουμε στο πείραμα και στην επαγωγή. Ο d'Alembert βλέπει την πειραματική επαγωγή ως ένα φτωχό υποκατάστατο της αυθεντικής γνωστικής διαδικασίας, που δεν θα μπορούσε να είναι παρά εποπτική, καθολική και ακαριαία (τουτέστιν ενορατική).

Και όμως, σε αυτή την ανεπαρκή μέθοδο θεμελιώθηκε το γιγαντιαίο οικοδόμημα της σύγχρονης επιστήμης. Ό,τι έχουμε μάθει για τη φύση και για τον εαυτό μας προέρχεται από τη σχολαστική παρατήρηση, την υπομονετική ταξινόμηση και τη συστηματική γενίκευση των θραυσμάτων γνώσης που αποκομίζουμε από την επαφή μας με τον κόσμο. Στην πραγματικότητα, η οικειοθελής αποδοχή της γνωσιολογικής μας ανεπάρκειας σηματοδοτεί το πέρασμα από το ιδεώδες της καθολικότητας στο ιδεώδες της μεθόδου – από τον κόσμο της σοφίας στον κόσμο της επιστήμης. Και αυτό που κινητοποιεί τη συγκεκριμένη μετάβαση δεν είναι ασφαλώς η γοητεία της ατέλειας και της αποσπασματικότητας, αλλά ο διαφαινόμενος εκδημοκρατισμός της γνωστικής διαδικασίας.

Η επιστήμη έχει θέση για όλους, όχι μόνο για όσους έχουν το (συχνά ταξικό) προνόμιο να εποπτεύουν την πραγματικότητα από απόσταση και να συλλαμβάνουν την γενική κίνηση των πραγμάτων. Αυτή ακριβώς η δυνατότητα εκθρόνισης των αυθεντιών είναι που κινητοποιεί τους πρωταγωνιστές της Επιστημονικής Επανάστασης και του Διαφωτισμού: αυτή η ίδια δυνατότητα είναι που μετατρέπει τη μαζικοποιημένη πλέον επιστήμη σε βασική κοινωνική δύναμη της νεοτερικότητας. Η ιδέα είναι ότι τώρα όλοι μπορούν να συμβάλλουν στην παραγωγή της γνώσης, όχι ως φωτισμένοι στοχαστές, αλλά ως εργάτες που, ακολουθώντας την κατάλληλη μέθοδο, θα φωτίζουν τη μια σκοτεινή γωνιά της φύσης μετά την άλλη. Η σοφία θα είναι το αποτέλεσμα αυτής της συλλογικής προσπάθειας και θα προέλθει από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων της επιστημονικής εργασίας.

Μόνο που τα πρόσωπα που κάνουν αυτή τη σύνθεση δεν είναι τα ίδια με τα πρόσωπα που παράγουν τη γνώση. Όλοι μπορούν να συμμετάσχουν στη συναγωγή, τον έλεγχο και την επικύρωση των επιστημονικών αποτελεσμάτων. Δεν μπορούν όμως όλοι να συμμετάσχουν στη συγκέντρωση και τη σύνθεση αυτών των αποτελεσμάτων από τις οποίες προκύπτουν κατανοητές εικόνες της πραγματικότητας. Το σημείο στο οποίο η επιστημονική γνώση προσεγγίζει τη σοφία είναι και το σημείο στο οποίο η δημοκρατία υποχωρεί για να δώσει τη θέση της στην αυθεντία των ειδικών που αντλούν το κύρος τους όχι από την προνομιακή τους σχέση με τη γνώση, αλλά από την προνομιακή τους σχέση με την εξουσία.

Μ.Π.

Η πρώτη δοκιμή πλανητικής άμυνας Πρόσκρουση διαστημικού

Εκτός από τις πιθανές καταστροφές που μπορεί να προκαλέσει ο ίδιος ο ανθρώπινος πολιτισμός, η ανθρωπότητα βρίσκεται αντιμέτωπη με κινδύνους που προέρχονται από το διάστημα. Μέρους της σύγχρονης έρευνας είναι η αναγνώριση αυτών των κινδύνων, η μελέτη σεναρίων και η εύρεση μεθόδων πρόληψης ή/και αντιμετώπισής αυτών των κινδύνων. Ένας από αυτούς τους κινδύνους είναι η πρόσπτωση ενός μετεωρίτη στον πλανήτη μας, κάτι που γνωρίζουμε ότι έχει συμβεί στο παρελθόν και πιστεύουμε ότι ευθύνεται για την εξαφάνιση των δεινοσαύρων. Όσο και αν φαίνεται σενάριο επιστημονικής φαντασίας, πρόκειται για έναν κίνδυνο που η ανθρωπότητα καθίσταται πλέον σε θέση να αντιμετωπίσει.

Αστεροειδείς και άλλα απειλητικά αντικείμενα του ηλιακού συστήματος

Το ηλιακό μας σύστημα φιλοξενεί, εκτός από τον Ήλιο, τους πλανήτες και τους δορυφόρους τους, διάσπαρτα εκατομμύρια μικρότερα αντικείμενα, με μεγέθη που ποικίλουν από περίπου 1000 χιλιόμετρα ως μερικά εκατοστά ή ακόμα μικρότερα. Οι αστεροειδείς και οι κομήτες ανήκουν σε αυτή την κατηγορία των αντικειμένων. Λόγω των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων, οι αστεροειδείς είναι κυρίως συγκεντρωμένοι σε συγκεκριμένες περιοχές. Η κύρια ζώνη των αστεροειδών βρίσκεται μεταξύ Άρη και Δία ενώ ένας σημαντικός αριθμός βρίσκεται επίσης γύρω από συγκεκριμένα σημεία ισορροπίας επί της τροχιάς του Δία (Τρωικοί αστεροειδείς), αλλά και κατά μήκος των τροχιών άλλων πλανητών.

Ο πρώτος αστεροειδής που ανακαλύ-



Ο Δίδυμος (κάτω αριστερά) και ο δορυφόρος του Δίμορφος (επάνω), όπως φωτογραφήθηκε από την κάμερα του DART, δυόμιση λεπτά πριν την πρόσκρουση, όταν το σκάφος βρισκόταν σε απόσταση 920 χιλιομέτρων

φθηκε, και ο μεγαλύτερος της κύριας ζώνης, είναι η Δήμητρα (Ceres), το 1801, η οποία έχει διάμετρο περίπου 940 χιλιομέτρων και κατατάσσεται στην κατηγορία των νάνων πλανητών, μαζί με τον Πλούτωνα, την Έριδα, τον Haumea κ.α. Τα τελευταία αυτά ουράνια σώματα ανήκουν σε μια άλλη κατηγορία, αυτής των μετα-Ποσειδώνιων αντικειμένων, δηλαδή ενός τεράστιου συνόλου από σώματα διαφόρων μεγεθών, τα οποία βρίσκονται μετά την τροχιά του Ποσειδώνα. Πιο συγκεκριμένα, από την τροχιά του Ποσειδώνα μέχρι περίπου τις πενήντα αστρονομικές μονάδες από τον Ήλιο εκτείνεται η ζώνη του Κάιπερ, με συνολική μάζα των αντικειμένων της δεκάδες ως εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από εκείνη των αστεροειδών. Ακόμα μακρύτερα εκτείνονται τα αντικείμενα του διασκορπισμένου δίσκου, που εκτείνεται μέχρι τις εκατό και πλέον αστρονομικές μονάδες. Λόγω της απόστασής

τους από τον Ήλιο, πολλά από τα σώματα των μακρινών και σκοτεινών αυτών περιοχών χρειάζονται δεκαετίες για να ολοκληρώσουν μια περιστροφή. Επιπλέον κάποια από αυτά έχουν πολύ εκκεντρες τροχιές, σαν αποτέλεσμα της επιρροής της βαρυτικής έλξης των αέριων γιγάντιων πλανητών.

Η μελέτη των αστεροειδών και των μεταποσειδώνιων αντικειμένων έχει πολύ μεγάλη πρακτική και θεωρητική σημασία. Τα αποτελέσματά της είναι πολύ σημαντικά τόσο για τις θεωρίες δημιουργίας του ηλιακού μας συστήματος όσο και για την πλανητική άμυνα, καθώς ενδέχεται κάποιο από αυτά τα σώματα να αποτελέσει μελλοντική απειλή για τον πλανήτη μας. Για αυτό το λόγο κρατικές διαστημικές υπηρεσίες όπως η NASA και διεθνείς οργανισμοί, όπως η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (European Space Agency, ESA), συντονίζονται και αναπτύσσουν δράσεις αντιμετώ-

Συνδεθείτε με το ΠΡΙΣΜΑ στο facebook
www.facebook.com/PRISMASCIENCEMAGAZINE/

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Λήδα Αρνέλλου, Διδάκτωρ Επικοινωνίας της Επιστήμης
Παναγιώτης Κάβουρας, Διδάκτωρ Φυσικής
Γιάννης Κοντογιάννης, Διδάκτωρ Αστροφυσικής
Μανώλης Πατνιώτης, Καθηγητής Ιστορίας των Επιστημών ΕΚΠΑ
Δημήτρης Πετάκος, Διδάκτωρ Ιστορίας των Επιστημών
Μαρία Τσίπη, Διδάκτωρ Γενετικής

Ο σκάφος σε αστεροειδή

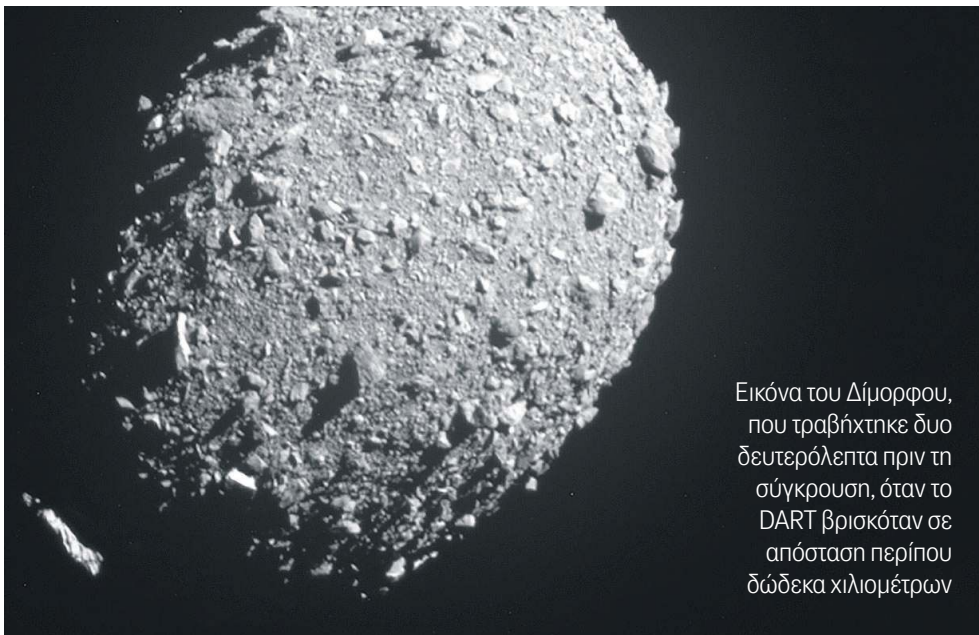
πισης αυτής της απειλής. Η αντιμετώπιση έχει δυο βασικές συνιστώσες, δηλαδή την όσο γίνεται λεπτομερέστερη καταγραφή των πληθυσμών των αστεροειδών που περιφέρονται στο ηλιακό σύστημα και την αναχαίτιση ενός πιθανού κινδύνου, με δεδομένο ότι έχει εξασφαλιστεί αρκετός χρόνος δράσης.

Με βάση τα ως τώρα αποτελέσματα των προγραμμάτων παρατήρησης η πρόσκρουση ενός μετεωρίτη σαν εκείνους που προκάλεσαν την εξαφάνιση των δεινοσαύρων ή, πιθανόν, άλλων προγενέστερων μαζικών εξαφανίσεων ζωής στον πλανήτη μας είναι απίθανη για τις επόμενες δεκαετίες. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί η πρόσκρουση μετεωρίτη με μέγεθος που θα μπορούσε να αφανίσει μια πόλη, αντιθέτως η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο μέσα σε εκατό χρόνια φτάνει το 1%. Βέβαια, δεδομένου ότι ο πλανήτη μας καλύπτεται κυρίως από νερό, οι πιθανότητες να αφανιστεί μια πόλη από έναν μετεωρίτη είναι πολύ μικρότερες. Παρόλα αυτά δεν είναι μηδενική και καθώς οι μετεωρίτες αυτοί είναι πολύ μικροί και κατά κανόνα σκοτεινοί, ο έγκαιρος εντοπισμός τους απαιτεί άμεσα μέτρα προκειμένου να αποτραπεί η πρόσκρουση.

Η αποστολή DART

Πριν από περίπου δυο δεκαετίες ξεκίνησε ο σχεδιασμός της αποστολής AIDA (Asteroid Impact and Deflection Assessment), από την NASA, την ESA και τις αντίστοιχες υπηρεσίες της Γερμανίας (DLR), του Applied Physics Laboratory του πανεπιστημίου Johns Hopkins (JHU/APL) και του αστεροσκοπείου της Κυανής Ακτής της Γαλλίας. Σκοπός της AIDA ήταν να μελετήσει τη δυνατότητα εκτροπής ενός αστεροειδούς με την εκτόξευση ενός βλήματος και αποτελούσαν από δυο επιμέρους σκάφη. Το πρώτο από αυτά, το DART (Double Asteroid Redirection Test) θα κατασκευαζόταν από τους εταίρους στις ΗΠΑ, θα προσέγγιζε τον αστεροειδή και θα συγκρούονταν με αυτόν. Το δεύτερο είχε την ονομασία AIM (Asteroid Impact Mission), θα προερχόταν από τους εταίρους στην Ευρώπη και θα ήταν αυτό που θα μελετούσε τη σύγκρουση και τα αποτελέσματά της σε πραγματικό χρόνο. Δυστυχώς η ευρωπαϊκή συνεισφορά στο πρόγραμμα ματαιώθηκε το 2016 και επανήλθε το 2019 με την ονομασία Hera (Hera), η οποία όμως δεν θα φτάσει στον αστεροειδή πριν το 2026.

Το DART εκτοξεύτηκε μόλις τον Νοέμβριο του 2021 με στόχο τον αστεροειδή Δίμορφο, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από έναν άλλο αστεροειδή, τον Δίδυμο, και έχει



Εικόνα του Δίμορφου, που τραβήχτηκε δυο δευτερόλεπτα πριν τη σύγκρουση, όταν το DART βρισκόταν σε απόσταση περίπου δώδεκα χιλιομέτρων

μεγάλη ακτίνα περίπου 160 μέτρα. Τέτοιοι αστεροειδείς αντιπροσωπεύουν τυπικές περιπτώσεις αντικειμένων που, λόγω του μεγέθους τους, αποτελούν σημαντική απειλή για την ανθρωπότητα, σε περίπτωση πρόσκρουσης. Ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί ότι ο συ-

γκεκριμένος δεν αποτελεί απειλή για τη Γη και η αποστολή στοχεύει απλώς στη δοκιμή μιας συγκεκριμένης μεθόδου αποτροπής. Το προσδοκώμενο αποτέλεσμα της πρόσκρουσης δεν θα είναι η καταστροφή του Δίμορφου αλλά η μεταβολή της περίπου 12-ωρης

περιόδου περιφοράς κατά 12 δευτερόλεπτα. Το διπλό σύστημα αστεροειδών επιλέχθηκε διότι μετά την πρόσκρουση θα είναι εύκολο να μελετηθεί η μεταβολή της τροχιάς του Δίμορφου γύρω από τον Δίδυμο.

Πράγματι, στις 26 Σεπτεμβρίου, στις 19:15 τοπική ώρα της ανατολικής ακτής των ΗΠΑ (δηλαδή 2:15 τα ξημερώματα της επόμενης ημέρας σε ώρα Ελλάδος), το σκάφος DART προσέκρουσε πάνω στο Δίμορφο με ταχύτητα περίπου 23 χιλιάδων χιλιομέτρων την ώρα. Κατά την έκρηξη εκλύθηκε ενέργεια που ισοδυναμούσε με την πυροδότηση περίπου τριών χιλιάδων κιλών TNT. Λίγες στιγμές πριν την πρόσκρουση αποκολλήθηκε από το κυρίως σώμα του σκάφους ο μικροδορυφόρος LICIACube (Little Italian CubeSat for Imaging of Asteroids), ο οποίος έστειλε σε πραγματικό χρόνο στη Γη ει-κόνες από τη σύγκρουση.

Η DART ήταν η πρώτη δοκιμή μεθόδου πλανητικής άμυνας. Μετά από την επιτυχή προσέγγιση και πρόσκρουση στον Δίμορφο, ξεκινά και η ουσιαστική φάση της αποστολής, κατά την οποία θα μελετηθούν οι επιπτώσεις της πρόσκρουσης μέσω παρατηρήσεων και η σύγκριση με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και των θεωρητικών προβλέψεων. Οι παρατηρήσεις θα λαμβάνονται αρχικά με τα μεγαλύτερα τηλεσκόπια στη Γη και στο διάστημα και, σε περίπτωση τέσσερα χρόνια, με την Hera, η οποία θα αποτελέσει και την πρώτη αποστολή σε διπλό σύστημα αστεροειδών. Το Hera θα μελετήσει και τους δυο αστεροειδείς, εστιάζοντας στον κρατήρα που άφησε πίσω της η σύγκρουση και στη μέτρηση της μάζας που απέμεινε στον Δίμορφο.

Αν αποδειχθεί ότι η μεταβολή της τροχιάς του Δίμορφου είναι σε συμφωνία με τις θεωρητικές προβλέψεις, τότε η ανθρωπότητα θα έχει κάνει ένα πολύ σημαντικό βήμα στην προστασία της από τις καταστροφικές επιπτώσεις μια πρόσκρουσης μετεωρίτη. Με τα νέα όργανα παρατήρησης που προετοιμάζονται θα έχουμε στη διάθεσή την καλύτερη δυνατή καταγραφή πιθανών απειλών καθώς και αποτελεσματικότερες στρατηγικές αποτροπής.

Γ.Κ.

Πηγές

<https://www.scientificamerican.com/article/nasas-dart-spacecraft-successfully-smacks-a-space-rock-now-what1/#>

<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-dart-mission-hits-asteroid-in-first-ever-planetary-defense-test>

Πώς μπορεί να αποτραπεί μια πρόσκρουση μετεωρίτη;

Η αποτροπή της πρόσκρουσης ενός δυνητικά επικίνδυνου αστεροειδή στη Γη μπορεί να επιτευχθεί είτε μεταβάλλοντας την τροχιά του ή καταστρέφοντάς τον με συμβατικά ή πυρηνικά όπλα. Το ρίσκο στο τελευταίο σενάριο είναι ότι κάποια από τα συντρίμια της έκρηξης ενδέχεται να καταλήξουν και πάλι στον πλανήτη μας επομένως αναζητούνται τρόποι που στοχεύουν στη μεταβολή της τροχιάς του.

Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει αξιοποιώντας τη βαρύτητα και την μεταφορά ορμής μέσω κρούσης ή άλλου είδους ώθησης. Για παράδειγμα, στέλνοντας ένα βαρύ διαστημικό όχημα κοντά στον αστεροειδή εγκαίρως μπορούμε μέσω της βαρυτικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των δυο σωμάτων να προκαλέσουμε την απαραίτητη μεταβολή στην τροχιά του αστεροειδούς, μέσα σε μερικές δεκαετίες. Μια άλλη προσέγγιση στοχεύει στο να προκληθεί η εξάχνωση αερίων από το διαστημικό βράχο τα οποία τελικά θα δώσουν την απαραίτητη ώθηση ώστε να αλλάξει η τροχιά του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους, είτε στοχεύοντας το αντικείμενο με λέιζερ που θα θερμάνουν τα υλικά του ή ανακατευθύνοντας το ηλιακό φως με κατάλληλα κάτοπτρα. Ώθηση μπορεί να δοθεί στον αστεροειδή και από την ίδια την ηλιακή ακτινοβολία, επομένως επικαλύπτοντάς τον με κατάλληλη ουσία μπορούμε να εντείνουμε τη δράση του ηλιακού φωτός. Τέλος, αν ο αστεροειδής είναι αρκετά συμπαγής μπορούμε να προσεδαφίσουμε κατάλληλους προωθητές στην επιφάνειά του. Σε αντίθετη περίπτωση, η πυροδότηση μιας πυρηνικής έκρηξης κοντά στο αντικείμενο μπορεί να το ωθήσει αποτελεσματικά εκτός της τροχιάς του. Τέλος, μπορούμε να προκαλέσουμε μεταβολή στην κίνηση του αστεροειδή αν «ρίξουμε» ένα διαστημικό σκάφος πάνω του. Αυτό είναι το σενάριο που εξετάζει η αποστολή DART.

Η επιστήμη της κλιματικής αλλαγής Από τις πρώτες διαπιστώσεις στη σημε

Η κλιματική αλλαγή δεν αποτελεί ένα πιθανό σενάριο ή ένα μελλοντικό πρόβλημα. Συμβαίνει τώρα και επηρεάζει κάθε γωνιά του πλανήτη. Οι επιπτώσεις της είναι φανερές, μη αναστρέψιμες και πρόκειται να επιδεινωθούν τις επόμενες δεκαετίες. Οι αλλαγές στο κλίμα της Γης που οφείλονται στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν ήδη τεράστιο αντίκτυπο στο περιβάλλον: τη συρρίκνωση των παγετώνων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας καθώς επίσης και μεγάλες αλλαγές σε χλωρίδα και πανίδα. Η αύξηση των πυρκαγιών, οι μεγάλες περίοδοι ξηρασίας και τα έντονα καιρικά φαινόμενα όπως οι τυφώνες, οι πλημμύρες και οι καύσωνες συμβαίνουν, επίσης, με ολοένα και μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με τις αρχικές προβλέψεις.

Σύμφωνα με τον Ο.Η.Ε. με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στις μακροπρόθεσμες αλλαγές στη θερμοκρασία και στα μοτίβα του καιρού. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να οφείλονται σε φυσικά αίτια όπως στις μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη ή στις ηφαιστειακές εκρήξεις, ή μπορεί να είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Μετά το 1800 ο άνθρωπος είναι υπεύθυνος για την κλιματική αλλαγή κυρίως εξαιτίας της καύσης ορυκτών καυσίμων όπως πετρελαίου, φυσικού αερίου και ορισμένων γαιανθράκων. Η χρήση των ορυκτών καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση αερίων, γνωστών και ως αερίων του θερμοκηπίου, που παγιδεύουν τη θερμότητα που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο, γεγονός που συντελεί, τελικά, στην αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνειά της. Το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο είναι ορισμένα από τα αέρια που προκαλούν την κλιματική αλλαγή. Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου προέρχονται από την παραγωγή ενέργειας, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και από διάφορες χρήσεις της γης. Υπολογίζεται ότι 21,3 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα απελευθερώνονται μόνο από την καύση ορυκτών καυσίμων κάθε χρόνο, χωρίς να υπολογίζονται οι ποσότητες που εκλύονται από άλλες δραστηριότητες.

Οι αρχικές ισχυρές ενδείξεις

Η μελέτη του κλίματος, δηλαδή των φυσικών ποσοτήτων και των μετεωρολογικών φαινομένων που ορίζουν τον καιρό, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, οι βροχοπτώσεις κ.α. είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας του ανθρώπου. Ωστόσο πριν από κάποιες δεκαετίες φάνταζε αδιανόητο ότι ο άνθρωπος



μπορεί να επηρεάσει με τις ενέργειές του το κλίμα της Γης στο σύνολό της και σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα. Οι πιο συστηματικές προσπάθειες κατανόησης των φαινομένων που επηρεάζουν το κλίμα ξεκίνησαν πριν από περισσότερο από έναν αιώνα. Η ανακάλυψη της κλιματικής αλλαγής πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, όταν εντάθηκε η μελέτη του κλίματος της Γης σε παρελθοντικούς χρόνους και έγινε γνωστό το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τη δεκαετία του 1950 άρχισαν οι λεπτομερείς καταγραφές του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Στις αρχές του 1960, με τη βελτίωση των υπολογιστικών συστημάτων, αναπτύχθηκαν αξιόπιστα μοντέλα καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων σχετικά με τα αέρια της ατμόσφαιρας. Σημαντικές πληροφορίες άρχισαν να συλλέγονται οι οποίες αξιοποιήθηκαν κι έτσι μπορούμε πλέον να έχουμε μια σαφή και πιο ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τις αλλαγές στο κλίμα με την πάροδο του χρόνου καθώς επίσης και με την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτό.

Το πρώτο πείραμα-σταθμός στη μελέτη της κλιματικής αλλαγής πραγματοποιήθηκε από την Αμερικανίδα επιστήμονα και ακτιβίστρια για τα δικαιώματα των γυναικών Eunice Newton Foote το 1856. Η Foote τοποθέτησε δύο γυάλινα δοχεία στο φως του Ήλιου. Το ένα περιείχε ατμοσφαιρικό αέρα, ένα μείγμα, δηλαδή, αερίων όπως άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλων. Στο άλλο υπήρχε μόνο διοξείδιο του άνθρακα. Και στα δύο δοχεία τοποθετήθηκαν θερμόμετρα για την καταγραφή των μεταβολών της θερμο-

κρασίας. Καθώς έπεφταν οι ακτίνες του Ήλιου στα δοχεία, η Foote διαπίστωσε ότι το δοχείο που περιείχε το διοξείδιο του άνθρακα θερμαινόταν πιο γρήγορα και η αυξημένη θερμοκρασία διατηρούνταν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η αξία των ευρημάτων της, ωστόσο, δεν αναγνωρίστηκε από την επιστημονική κοινότητα της εποχής. Τον 21^ο αιώνα η έρευνά της συγκέντρωσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων, όταν ιστορικοί ανέδειξαν τα δημοσιευμένα κείμενά της.

Τρία χρόνια μετά τη δημοσίευση της Foote ο Ιρλανδός φυσικός John Tyndall κατέληξε με διαφορετικό τρόπο στα ίδια συμπεράσματα. Απέκτισε αμέσως διεθνή αναγνώριση και τα πειράματά του θεωρήθηκαν κομβικά για την κατανόηση της επίδρασης των αερίων του θερμοκηπίου στο κλίμα. Το 1896 ο Σουηδός επιστήμονας Svante Arrhenius ασχολήθηκε με την επίδραση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα στην αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης. Τα ευρήματά του θεωρούνται σταθμός στη μελέτη του κλίματος και συγκεκριμένα της κλιματικής αλλαγής.

Η μελέτη του κλίματος γίνεται πιο συστηματική

Με τη βιομηχανική επανάσταση πολλαπλασιάστηκε η παρέμβαση του ανθρώπου στο κλίμα. Τόνοι άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμο από τα εργοστάσια ενώ παράλληλα νέες τεχνολογικές εφευρέσεις όπως η ατμομηχανή είχαν ως αποτέλεσμα επιπρόσθετη έκλυση αερίων του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά οι επιστήμονες δεν άρχισαν να με-

λετούν τις αλλαγές στο κλίμα παρά μόνο μετά από αρκετά χρόνια. Το σύστημα που διαμορφώνει το κλίμα στη Γη φαινόταν σύνθετο και αμετάβλητο και υπήρχε άγνοια σχετικά με τη δυνατότητα επίδρασης του ανθρώπου σε αυτό. Ο Άγγλος φυσικός και εφευρέτης Guy Stewart Callendar, με άρθρο που δημοσίευσε το 1938, ανέπτυξε μια θεωρία που συνέδεε την καύση ορυκτών καυσίμων με την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας της Γης. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του η χρήση των ορυκτών καυσίμων ευθυνόταν για την απελευθέρωση περίπου 150 δισεκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μέχρι το τέλος του 19^{ου} αιώνα. Παρόλα αυτά θεωρούσε ότι κάτι τέτοιο θα είναι ευεργετικό διότι θα καθυστερούσε την έλευση μιας επόμενης περιόδου παγετώνων.

Κατά το Διεθνές Γεωφυσικό Έτος, που ξεκίνησε το 1957 και είχε διάρκεια 18 μηνών, επιστήμονες από 66 κράτη συνεργάστηκαν με στόχο τη διεξαγωγή ερευνών στην Ανταρκτική και στην Αρκτική. Οι έρευνες τελικά επεκτάθηκαν σε όλη τη Γη. Στο πλαίσιο της διεθνούς συνεργασίας πραγματοποιήθηκαν ακριβείς μετρήσεις του διοξειδίου του άνθρακα σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Τα αποτελέσματα των ερευνών έθεσαν τα θεμέλια για τη συστηματική μέτρηση των αερίων του θερμοκηπίου και απέδειξαν τη σαφή συσχέτιση ανάμεσα στις ανθρώπινες ρυπογόνες δραστηριότητες και στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Εκείνη την περίοδο ο Αμερικανός επιστήμονας Charles David Keeling ανέπτυξε ένα πολύ αξιόπιστο σύστημα μέτρησης του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Αναλύοντας δεδομένα από έναν μετεωρολογικό σταθμό στη Χαβάν απέδειξε ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξάνεται κάθε χρόνο. Το γράφημα που προέκυψε, το οποίο ονομάστηκε προς τιμήν του καμπύλη Keeling, χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα και αναδεικνύει με τον πιο αδιαμφισβήτητο τρόπο τις ανησυχητικές διαστάσεις της κλιματικής αλλαγής. Την ίδια χρονιά ο Αμερικανός επιστήμονας Roger Randall Dougan Revelle με την επιστημονική ομάδα του, μελέτησε τη ροή του ραδιενεργά σημασμένου άνθρακα στους ωκεανούς και στην ατμόσφαιρα και έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι ωκεανοί δεν μπορούν να απορροφήσουν τόσο μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα όσο πίστευαν μέχρι τότε. Επομένως συμπέρανε ότι το αέριο συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας.

Τα χρόνια που ακολούθησαν και με τη ρα-

Περιβαλλοντική κρίση



γδαία βελτίωση του τεχνολογικού εξοπλισμού συσσωρεύτηκαν όλο και περισσότερα δεδομένα. Επομένως σιγά σιγά άρχισαν να αποσαφηνίζονται οι τρόποι με τον οποίο ο άνθρωπος διαμορφώνει το κλίμα στη Γη. Μελετώντας τις αλλαγές που συνέβησαν στη Γη σε βάθος χιλιάδων χρόνων και διαπιστώνοντας το εύρος και τη συχνότητά τους, εγκαταλείφθηκε η ιδέα ότι η κλιματική αλλαγή συμβαίνει αργά και αφορά κάποιο απροσδιόριστο μελλοντικό χρόνο. Με τη μελέτη των στρωμάτων πάγου, των ωκεάνιων και λιμναίων ιζημάτων, των πετρωμάτων της ξηράς και των δακτυλίων των δέντρων αποκαλύφθηκαν σημαντικές πληροφορίες για τις αλλαγές στο κλίμα τα προηγούμενα χιλιάδες χρόνια. Επιπλέον, αξιοποιήθηκαν τα συστήματα δορυφόρων που από τη δεκαετία του 1960 έδωσαν μια διαφορετική οπτική για τη μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων. Έτσι άρχισε να καταγράφεται η άνοδος της στάθμης της θάλασσας που εκτιμάται ότι φτάνει τα 3,4 χιλιοστά το χρόνο, με επιταχυνόμενο ρυθμό καθώς επίσης και το λιώσιμο των πάγων στην Αρκτική θάλασσα και στην Ανταρκτική. Η καταγραφή της θερμοκρασίας από τους μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι διάσπαρτοι σε όλον τον πλανήτη ανέδειξε, επίσης, την άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας με την πάροδο των ετών.

Η κλιματική αλλαγή στο επίκεντρο του δημόσιου διαλόγου

Μέχρι τη δεκαετία του 1960 έγινε, πλέον, αποδεκτό ότι ο πλανήτης θερμαίνεται και είχε ήδη αρχίσει να

αποσαφηνίζεται η επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην αλλαγή του κλίματος. Ωστόσο οι συνέπειες αυτής της αλλαγής στον πλανήτη αλλά και στον άνθρωπο δεν ήταν γνωστές. Η ενίσχυση των υπολογιστικών συστημάτων μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο έδωσε νέα ώθηση στην έρευνα για τις μεταβολές στο κλίμα. Έτσι με τις νέες δυνατότητες που άρχισαν να προσφέρουν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές ξεκίνησαν οι πιο πολύπλοκοι υπολογισμοί και οι προβλέψεις για το μέλλον. Με τη βοήθεια αλγορίθ-

μων οι παρατηρήσεις και οι καταγραφές αξιοποιήθηκαν και δημιουργήθηκαν τα μοντέλα πρόβλεψης των μεταβολών του κλίματος που μπορούν να δώσουν με σχετική ακρίβεια μια εικόνα της κατάστασης για τα επόμενα χρόνια. Το 1967 οι μετεωρολόγοι Syukuro Manabe και Richard Wetherald ήταν οι πρώτοι επιστήμονες που έφτιαξαν ένα υπολογιστικό μοντέλο για τη διαδικασία μεταβολής του κλίματος από τα αέρια του θερμοκηπίου. Έκτοτε τα μοντέλα έγιναν όλο και πιο ακριβή και λεπτομερή. Η υπερθέρμανση του πλανήτη συνδέθηκε και με άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα και η αντιμετώπισή της άρχισε να μπαίνει στο επίκεντρο των αιτημάτων των περιβαλλοντικών οργανώσεων και κινημάτων.

Το 1988 ιδρύθηκε ένα επιστημονικό διακυβερνητικό σώμα από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών που ονομάστηκε Διακυβερνητική Διάσκεψη για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Σκοπός της είναι η αξιοποίηση της επιστημονικής έρευνας γύρω από την κλιματική αλλαγή προκειμένου να ληφθούν μέτρα από τις εκάστοτε πολιτικές ηγεσίες. Οι αναφορές της IPCC οδήγησαν σε κάποιες διεθνείς προσπάθειες μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο το 1997. Το 2015 η Ευρωπαϊκή Ένωση και 196 κράτη υπέγραψαν τη Συμφωνία του Παρισιού, με την οποία δεσμεύονταν στη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε επίπεδα κάτω των 2°C σε σχέση με εκείνα της προβιομηχανικής εποχής. Παρόλα αυτά υπήρξαν σημαντικές καθυστερήσεις στην εφαρμογή των συμφωνηθέντων. Οι ηγεσίες πολλών κρατών στις οποίες επικράτησαν συντηρητικές κυβερνήσεις σε συνδυασμό με την επιρροή των επιχειρήσεων που επωφελούνται από επιζήμιες για το περιβάλλον δραστηριότητες αποτέλεσαν σημαντικό εμπόδιο στη δράση κατά της κλιματικής αλλαγής.

Σήμερα η ατμόσφαιρα έχει τα υψηλότερα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με οποιαδήποτε χρονική περίοδο τα τελευταία 3 εκατομμύρια χρόνια. Παρά τις επιμέρους προσπάθειες και τις εκκλήσεις των διεθνών οργανισμών και των επιστημόνων η κατάσταση επιδεινώνεται. Πλέον βρισκόμαστε στη δίνη μιας πρωτοφανούς κλιματικής κρίσης που πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα προκειμένου να εξασφαλιστεί ένα βιώσιμο παρόν και μέλλον για την ανθρωπότητα και για τον πλανήτη μας.

Μ.Τ.

Πηγές:

<https://www.un.org/en/>
<https://climate.nasa.gov/>
<https://www.sciencenews.org/>



Πλαστικά από διοξείδιο του άνθρακα

Μια εναλλακτική στρατηγική κατά της κλιματικής αλλαγής

Τα πλαστικά έχουν μετατραπεί σε αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας και του πολιτισμού μας με αναρίθμητες εφαρμογές και χρήσεις. Η συσσώρευσή τους απειλεί τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων και έχει αναδειχθεί σε μείζον ζήτημα των σύγχρονων κοινωνιών. Ένα εξίσου σοβαρό θέμα αποτελεί η πρώτη ύλη από την οποία φτιάχνονται τα πλαστικά: τα ορυκτά καύσιμα. Παρόλο που μόνο το 4% του πετρελαίου και του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για την κατασκευή των πλαστικών, με την χρήση των ορυκτών καυσίμων ως πρώτη ύλη συμβάλλουν καθοριστικά στην κλιματική αλλαγή. Το πρόβλημα επιδεινώνεται ακόμα περισσότερο αν ληφθεί υπόψη η ολοένα αυξανόμενη παραγωγή και κατανάλωση πλαστικών. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας η παγκόσμια ζήτηση για πλαστικά θα αυξηθεί από 400 εκατομμύρια τόνους σε 600 εκατομμύρια μέχρι το 2050.

Οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί στην αντικατάσταση των πλαστικών από άλλα βιοδιασπώμενα υλικά. Τα βιοπλαστικά, δηλαδή τα πλαστικά που κατασκευάζονται από οργανικά υλικά που προέρχονται από φυτά όπως καλαμπόκι, σόγια και πατάτες, έχουν αναδυθεί ως εναλλακτική πρόταση στα συμβατικά πλαστικά. Όμως αυτή η προσέγγιση έχει σοβαρά μειονεκτήματα γιατί απαιτούνται μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις και βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή των πρώτων υλών και για τη διάσπαση των τελικών προϊόντων. Η χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων και το ενεργειακό κόστος της συγκομιδής και της μεταφοράς κάνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των βιοπλαστικών ακόμα πιο έντονο.

Τα τελευταία χρόνια και με την αξιοποίηση των επιτευγμάτων της επιστήμης και της τεχνολογίας κερδίζει έδαφος μια διαφορετική προσέγγιση. Πρόκειται για τη δημιουργία πλαστικών από το κυρίαρχο αέριο του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα. Πάνω από μια δεκαετία ερευνητικές ομάδες ανά τον κόσμο εργάζονται σε αυτό το επιστημονικό αντικείμενο και η όλη προσπάθεια έχει αρχίσει να αποδίδει καρπούς. Ο στόχος είναι διπλός: η μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και παράλληλα ο περιορισμός του διοξειδίου του άνθρακα ή άλλων αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή.



Φέτος, για πρώτη φορά, η Διακυβερνητική Διάσκεψη για την Κλιματική Αλλαγή στην 6^η και πιο πρόσφατη αναφορά της, πρότεινε ως μία επιπρόσθετη επιλογή για τη μείωση του άνθρακα της ατμόσφαιρας τη δέσμευση και την αξιοποίησή του (Carbon Capture and Utilization, CCU). Η στρατηγική αυτή στοχεύει στη χρησιμοποίηση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας για την παρασκευή πλαστικών, τοιμέντου, ακόμα και καυσίμων για αεροσκάφη. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της Διακυβερνητικής Διάσκεψης η συγκεκριμένη στρατηγική μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20 δισεκατομμύρια τόνους μέχρι το 2050.

Ωστόσο η μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας σε πλαστικό είναι μια πολύπλοκη διαδικασία πολλών σταδίων. Προϋποθέτει την κατάλληλη τεχνογνωσία και υλικοτεχνικό εξοπλισμό για την εξαγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από τον ατμοσφαιρικό αέρα, για την αποθήκευση και τη μεταφορά του και για τη μετατροπή του σε δομικά συστατικά των πλαστικών αντικειμένων. Όλα αυτά πρέπει να γίνουν με τον πλέον φιλικό προς το περιβάλλον και βιώσιμο τρόπο, καταναλώνοντας όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι χρειάζεται πολλή ενέργεια για να διασπαστεί

ο χημικός δεσμός που συνδέει τα άτομα του άνθρακα με τα άτομα του οξυγόνου. Για την επίλυσή του οι επιστήμονες επιστράτευαν τους κατάλληλους καταλύτες, ουσίες, δηλαδή, που επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις.

Επιστημονικές ομάδες από διάφορα πανεπιστημιακά ιδρύματα αλλά και εταιρίες έχουν ξεκινήσει ήδη τις προσπάθειες φιλοδοξώντας να φτιάξουν προϊόντα ευρείας χρήσης. Ένα επιτυχημένο παράδειγμα αποτελεί η παρασκευή πολυκαρβονικών πλαστικών από τα οποία κατασκευάζονται μπουκάλια και άλλες συσκευασίες. Για να φτιαχτούν τα συγκεκριμένα πλαστικά χρησιμοποιείται διοξείδιο του άνθρακα και ορισμένα σάκχαρα ως πρώτες ύλες¹. Μια άλλη επιστημονική ομάδα κατόρθωσε να αναπτύξει μια νέα τεχνική με την οποία μπορούν να παραχθούν σύνθετα μόρια που περιέχουν άνθρακα χρησιμοποιώντας νερό και διοξείδιο του άνθρακα, σε μια διαδικασία «τεχνητής φωτοσύνθεσης»². Τα παραγόμενα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πλαστικών προϊόντων. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον των επιστημόνων έχει στραφεί και στη δυνατότητα ορισμένων μικροοργανισμών να απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα και να το μετατρέπουν σε χρήσιμες για τον άνθρωπο χημικές ουσίες. Πράγματι το βακτήριο *Clostridium autoethanogenum* χρησιμοποιείται

ήδη για τη μετατροπή των βιομηχανικών εκπομπών διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα σε αιθανόλη, η οποία μετατρέπεται σε πολυεστέρα.

Η παρασκευή πλαστικών από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο προς την κατεύθυνση της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο για να αναχαιτιστεί η κλιματική κρίση που βιώνει ο πλανήτης χρειάζονται ριζοσπαστικές αλλαγές σε πολλές πτυχές των σύγχρονων κοινωνιών και υιοθέτηση ενός εντελώς διαφορετικού αξιακού συστήματος που θα βασίζεται στον περιορισμό του οικολογικού αποτυπώματος των ανθρώπων και στο σεβασμό του περιβάλλοντος.

M.T.

Πηγές

1. Gregory G. et al, "Polymers from sugars and CO₂: ring-opening polymerisation and copolymerisation of cyclic carbonates derived from 2-deoxy-D-ribose" *Polymer Chemistry*, 2017, 8, 2093-2104
2. https://www.rutgers.edu/news/how-convert-climate-changing-carbon-dioxide-plastics-and-other-products#W_SPapNKjR1

Πρακτικές οδηγίες για πιο αξιόπιστη έρευνα

Εδώ και αρκετά χρόνια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδοτεί ερευνητικά προγράμματα που στοχεύουν να δημιουργήσουν εκείνες τις συνθήκες που θα διασφαλίζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της έρευνας που χρηματοδοτείται από κοινοτικά κονδύλια, δηλαδή από τους ευρωπαίους φορολογούμενους. Τέτοια ερευνητικά προγράμματα στοχεύουν στην κατανόηση και αντιμετώπιση του φαινομένου της «κρίσης της επαναληψιμότητας» (PPI-SMA 101), δηλαδή εξερευνούν τις αιτίες του, και προτείνουν αντίμετρα. Ένα τέτοιο ερευνητικό πρόγραμμα, που έχει ως στόχο να βοηθήσει ερευνητικούς οργανισμούς (π.χ. πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα) και χρηματοδοτικούς οργανισμούς (οργανισμούς που χρηματοδοτούν ερευνητικά προγράμματα) να προάγουν μία αξιόπιστη έρευνα, είναι το «Πρότυπες Διαδικασίες Λειτουργίας για την Ακεραιότητα στην Έρευνα» ή Standard Operating Procedures for Research Integrity, γνωστό με το ακρωνύμιο SOPs4RI (<https://sops4ri.eu/>), για το οποίο έχουμε γράψει παλιότερα (ΠΡΙΣΜΑ 96). Είναι ένα τετραετές ερευνητικό πρόγραμμα που ολοκληρώνεται τον Δεκέμβριο του 2022, συντονίζεται από το Πανεπιστήμιο του Άαρχους (Δανία), στο οποίο συμμετέχει και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Βασικός στόχος του SOPs4RI είναι να αναπτύξει μία συλλογή «εργαλείων», δηλαδή οδηγιών και διαδικασιών, τα οποία θα καθοδηγούν τον τρόπο λειτουργίας ερευνητικών και χρηματοδοτικών οργανισμών. Ο στόχος αυτός έχει ήδη επιτευχθεί, με τη συλλογή 120 εργαλείων που βρίσκονται στην ηλεκτρονική εργαλειοθήκη του SOPs4RI (<https://sops4ri.eu/toolbox/>), η οποία χωρίζεται σε δύο μέρη, ένα για κάθε είδος οργανισμού. Τα περισσότερα από αυτά τα εργαλεία έχουν δημιουργηθεί από διάφορους ερευνητικούς και χρηματοδοτικούς οργανισμούς και βρίσκονταν διάσπαρτα στο διαδίκτυο· 14 από αυτά έχουν δημιουργηθεί από το SOPs4RI και καλύπτουν υπάρχοντα και αναγνωρισμένα κενά. Κάθε μέρος της εργαλειοθήκης είναι χωρισμένο σε «συρτάρια» εντός των οποίων είναι τοποθετημένα αυτά τα εργαλεία. Τα συρτάρια αυτά αντιπροσωπεύουν διαφορετικές θεματικές κατηγορίες ακεραιότητας στην έρευνα. Ως παράδειγμα, στην εικόνα 1 παρουσιάζουμε την δομή του μέρους που προορίζεται για ερευνητικούς οργανισμούς.

Πως όμως το SOPs4RI έχει καταλήξει στη δομή της εικόνας 1; Ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα του SOPs4RI ήταν εύρεση των σημαντικότερων θεματικών κατηγοριών που απαρτίζουν αυτό που αποκαλείται «ακεραιότητα στην έρευνα». Μετά την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας που στηρίχτηκε τόσο σε εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα, όσο και σε διαβούλευση με φορείς που σχετίζονται με την έρευνα, το SOPs4RI κατέληξε σε εννέα θεματικές κατηγορίες για τους ερευνητικούς οργανισμούς και σε έξι θεματικές κατηγορίες για τους χρηματοδοτικούς οργανισμούς. Αυτά ακριβώς, λοιπόν, είναι τα «συρτάρια» μέσα στα οποία έχουν τοποθετηθεί τα εργαλεία.

Στην περίπτωση των ερευνητικών οργανισμών οι θεματικές κατηγορίες είναι οι εξής (Εικόνα 1 και σχετικός υπερσύνδεσμος): Ερευνητικό περιβάλλον, Επίβλεψη και καθοδήγηση, Εκπαίδευση στην ακεραιότητα στην έρευνα, Δομές ηθικής στην έρευνα, Καταστράτηγηση αρχών της ακεραιότητας στην έρευνα, Διαχείριση δεδομένων, Ερευνητική συνεργασία, Δήλωση συμφερόντων, καθώς και Δημοσίευση και Επικοινωνία. Οι αντίστοιχες θεματικές κατηγορίες για τους χρηματοδοτικούς οργανισμούς είναι οι εξής: Συμμόρφωση με τις αρχές ακεραι-



Εικόνα 1: Τα «συρτάρια» της εργαλειοθήκης του SOPs4RI για πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα. Από το website του SOPs4RI (<https://sops4ri.eu/tools/>)

ότητας στην έρευνα, Απαιτήσεις από ερευνητικούς οργανισμούς, Αξιολόγηση προτάσεων για χρηματοδότηση έρευνας, Δήλωση σύγκρουσης συμφέροντος, Παρακολούθηση χρηματοδοτούμενων ερευνητικών προγραμμάτων, Εσωτερικές παρεκβάσεις ακεραιότητας στην έρευνα (<https://sops4ri.eu/tools%20for-rfos/>).

Ένα ερώτημα που προκύπτει είναι πως η εργαλειοθήκη του SOPs4RI, που περιέχει συγκεκριμένα εργαλεία, μπορεί να βοηθήσει τα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια που αποδεδειγμένα παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους, συνεπώς έχουν και διαφορετικές ανάγκες. Η απάντηση στο ερώτημα δίνεται από τον τρόπο που θα πρέπει να γίνεται αντιληπτή η χρήση της εργαλειοθήκης του SOPs4RI. Τα εργαλεία αυτά δεν είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται κατά γράμμα ούτε να εφαρμόζονται όλα ανεξαιρέτως. Για παράδειγμα, τα ευρωπαϊκά πανεπιστήμια έχουν την ελευθερία να διαλέγουν τα πιο κατάλληλα και, επιπροσθέτως, να τα προσαρμόζουν στις ιδιαίτερες ανάγκες τους,

που καθορίζονται από το μέγεθός τους, από την ενδεχόμενη εξειδίκευσή τους σε συγκεκριμένα επιστημονικά πεδία, από την ένταση εργασίας στην έρευνα και, φυσικά, από το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο που οριοθετεί την λειτουργία τους.

Το SOPs4RI διευκολύνει την προσαρμογή της εργαλειοθήκης που προσφέρει στις ιδιαίτερες συνθήκες των διαφορετικών οργανισμών, με τη δημιουργία ενός οδηγού που ονομάζεται «Σχέδιο Προαγωγής της Ακεραιότητας στην Έρευνα» ή Research Integrity Promotion Plan (RIPP). Ένα RIPP θα πρέπει να συνοψίζει τις διαδικασίες που ένας οργανισμός εφαρμόζει για να παράγει την αξιόπιστη έρευνα. Ουσιαστικά, η δομή της εργαλειοθήκης του SOPs4RI αποτελεί έμπνευση για τις συγκεκριμένες δράσεις που ένας οργανισμός θα πρέπει να εφαρμόζει ώστε να πιστοποιεί ότι λαμβάνει μέτρα που διασφαλίζουν την ακεραιότητα στην έρευνα.

Ένα διάγραμμα που περιγράφει τα βήματα για την ανάπτυξη ενός RIPP παρουσιάζεται στην εικόνα 2. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στον υπερσύνδεσμο της λεζάντας της εικόνας 2. Όπως παρουσιάζεται, η διαδικασία εφαρμογής ενός RIPP ακολουθεί τρία στάδια: Προετοιμασία, Εφαρμογή και Παρακολούθηση. Κάθε ένα από τα στάδια αυτά περιέχει συγκεκριμένα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν. Αυτή η διαδικασία είναι σχεδιασμένη να εφαρμόζεται όχι μόνο μία φορά, αλλά κατ' επανάληψη. Με τον τρόπο αυτό ένα RIPP μπορεί να ανανεώνεται και να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες ενός ερευνητικού ή χρηματοδοτικού οργανισμού.

Κλείνοντας, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε κάθε ένα από τα δύο μέρη της εργαλειοθήκης του SOPs4RI υπάρχει ένας ευσύνοπτος οδηγός που περιγράφει τις θεματικές κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται τα εργαλεία. Ο οδηγός που αφορά στους ερευνητικούς οργανισμούς (<https://sops4ri.eu/wp-content/uploads/Guideline-for-Promoting-RI-in-RPOs-FINAL-2.pdf>) αποτελεί ήδη μέρος των οδηγιών του χρηματοδοτικού πλαισίου Ορίζοντας Ευρώπη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που απευθύνεται σε όσους επιθυμούν να αιτηθούν χρηματοδότησης. Είναι ένα γεγονός που αποδεικνύει τον σημαντικό αντίκτυπο ενός από τα πολλά αποτελέσματα του SOPs4RI.

Π.Κ.



Εικόνα 2: Η διαδικασία εφαρμογής ενός Σχεδίου Προαγωγής της Ακεραιότητας στην Έρευνα (RIPP). Από το website του SOPs4RI (https://sops4ri.eu/wp-content/uploads/Implementation-Guideline_FINAL.pdf). Η μετάφραση σε παρένθεση έχει τοποθετηθεί για τις ανάγκες του άρθρου.

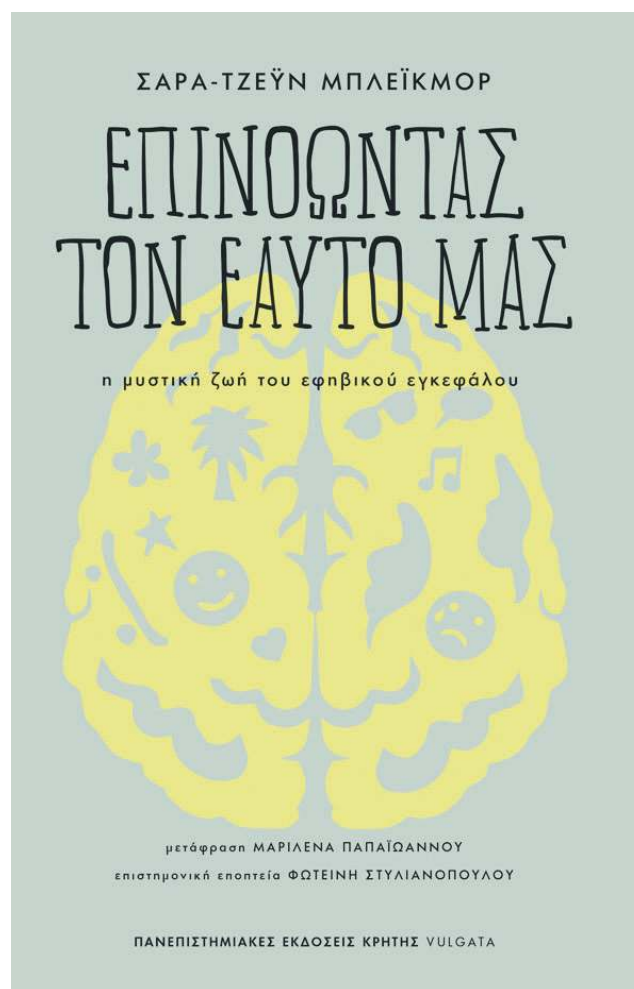
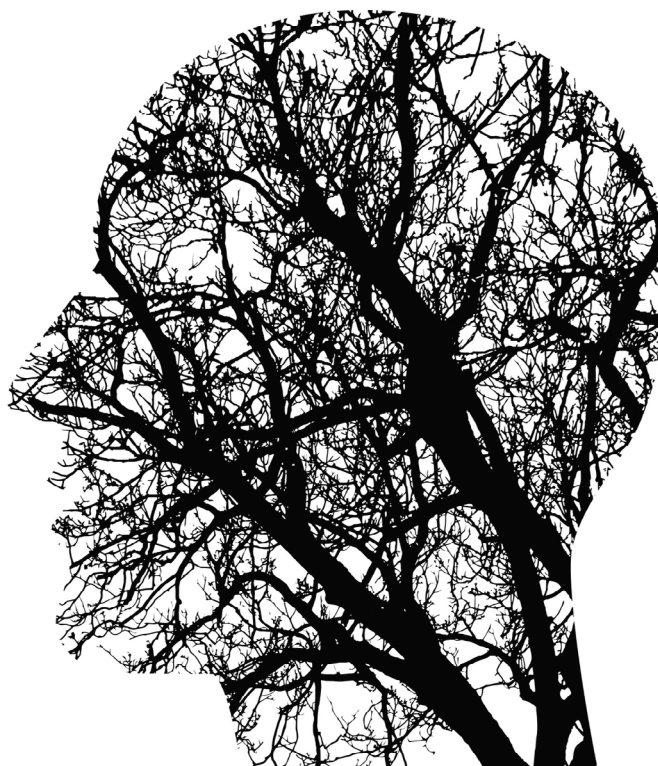
Επινοώντας τον εαυτό μας

Ο εγκέφαλος χαρακτηρίζεται συχνά ως ο μεγάλος άγνωστος, μια δαιδαλώδης και αχατογράφητη περιοχή της ανθρώπινης φυσιολογίας. Στο έργο *Επινοώντας τον εαυτό μας*, το οποίο έχει αποσπάσει το βραβείο Επιστημονικού Βιβλίου της Βασιλικής Εταιρείας το 2018 και το Βραβείο Βιβλίου Επιστημονικής Εκκλαίευσης της Βρετανικής Ψυχολογικής Εταιρείας το 2020 και κυκλοφορεί από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2022), η Σάρα-Τζέιν Μπλέικμορ επιχειρεί να δώσει απαντήσεις που αφορούν τον εφηβικό εγκέφαλο. Όλα τα ερωτήματα του βιβλίου συγκλίνουν σε ένα κεντρικό ερώτημα: Γιατί οι έφηβοι κάνουν όσα κάνουν; Αυτό το ερώτημα μπορεί να απαντηθεί μόνο μέσα από την αρχιτεκτονική με την οποία δομείται ο εγκέφαλος. Στο γοπητικό αυτό κείμενο η Μπλέικμορ μας αποκαλύπτει τις ερευνητικές διαδρομές, μέσα από τις οποίες χαρτογραφήθηκε και συνεχίζει να χαρτογραφείται αυτή η αρχιτεκτονική.

Αυτό το έργο μας περιγράφει και εξηγεί το πέρασμα από την παιδική ηλικία στην ενήλικη ζωή. Κατά τη διάρκεια αυτής της μετάβασης, προκύπτουν μεγάλες αλλαγές στη συμπεριφορά των εφήβων, αλλαγές που πολλές φορές οδηγούν και σε επικίνδυνες εμπειρίες. Η Μπλέικμορ σημειώνει στην αρχή του βιβλίου της ότι η εφηβεία είναι μια περίοδος της ζωής μας, κατά την οποία η αίσθηση του εαυτού μετασχηματίζεται σε σημαντικό βαθμό και, επί της ουσίας, επινοούμε μια νέα ταυτότητα. Αυτό που δείχνουν οι έρευνες των τελευταίων είκοσι ετών είναι πως ο εγκέφαλος αλλάζει σημαντικά κατά την περίοδο της εφηβείας. Νευρωνικά κυκλώματα αναδιατάσσονται, νέες συνδέσεις προκύπτουν και εγκεφαλικές περιοχές ωριμάζουν. Όλες αυτές οι αλλαγές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, στην ανάλυση ρίσκου και στις παρορμήσεις των εφήβων.

Η Μπλέικμορ μας δείχνει τι έχει αλλάξει και στο ερευνητικό πεδίο. Παλαιότερα, για παράδειγμα, ίσχυε η αντίληψη ότι ο εγκέφαλος διαμορφώνεται οριστικά κατά την περίοδο της παιδικής ηλικίας. Αναφέρεται στα ευρήματα των μελετών του παιδίατρου νευρολόγου Πέτερ Χούτενλοχερ, σύμφωνα με τα οποία κάποια τμήματα του εγκεφάλου δεν σταματούν να αναπτύσσονται κατά την παιδική ηλικία αλλά συνεχίζουν να αναπτύσσονται σε όλη τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας και της εφηβείας. Η πραγματική επανάσταση, όμως, στη μελέτη του εγκεφάλου ήρθε με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI) επέτρεψε για πρώτη φορά τη σάρωση του ανθρώπινου εγκεφάλου και μας προσέφερε πρωτόγνωρες πληροφορίες σχετικά με αυτόν. Επί της ουσίας, με τη μαγνητική τομογραφία μπορούμε, πλέον, να μελετήσουμε τον ζωντανό και λειτουργικό εγκέφαλο και να παρατηρήσουμε πώς αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της εφηβείας.

Η Μπλέικμορ δίνει ιδιαίτερη έμφαση στις μελέτες που αφορούν τις αλλαγές στις συνάψεις στον προμετωπιαίο λοβό. Οι τομογραφίες MRI έχουν δείξει ότι η δομή του προμετωπιαίου λοβού αλλάζει διαρκώς ανάλογα με την ηλικία. Μία από αυτές τις περιόδους είναι και της πρώιμης εφηβείας. Κατά τη



διάρκεια της παιδικής ηλικίας, οι συνάψεις διαρκώς αυξάνονται, ενώ στην πρώιμη εφηβεία παρατηρείται μία φθίνουσα πορεία καθώς αρκετές εξαλείφονται και ενισχύονται όσες χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Αυτή η διαδικασία μας δείχνει πόσο δυναμικές είναι οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στον εφηβικό εγκέφαλο. Επίσης, η Μπλέικμορ μας αποκαλύπτει ότι οι μελέτες του εγκεφάλου έχουν δείξει ότι δεν είναι αυστηρά προσδιορισμένο πότε σταματά να αναπτύσσεται ο εγκέφαλος του ανθρώπου. Πρόκειται για μια πολυπαραγοντική διαδικασία που εξαρτάται από το περιβάλλον και τις γενετικές επιδράσεις. Στους περισσότερους ανθρώπους, ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι ο εγκέφαλος σταματά να αναπτύσσεται κατά την έναρξη της πέμπτης δεκαετίας ζωής.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα σημεία του βιβλίου είναι πώς παρουσιάζει τον αντίκτυπο των εγκεφαλικών διεργασιών στις κοινωνικές σχέσεις και αλληλεπιδράσεις. Ένα κρίσιμο ερώτημα που θέτει η Μπλέικμορ είναι: Εφόσον αλλάζει η δομή του εγκεφάλου στην εφηβεία, πώς επηρεάζεται η κατανόηση που έχουμε οι άνθρωποι για τους άλλους; Πώς, δηλαδή, αντιλαμβανόμαστε την ίδια την έννοια του άλλου; Τα αποτελέσματα, στα οποία έχει καταλήξει η Μπλέικμορ, είναι πως η ικανότητα να λαμβάνουμε υπόψη την οπτική γωνία ενός άλλου ανθρώπου συνεχίζει να αναπτύσσεται κατά την εφηβεία. Η κρίση περί δικαίου, για παράδειγμα, αυξάνεται σταδιακά κατά την εφηβεία. Αυτή η αλλαγή συνδέεται στενά με την κατανόηση των προθέσεων του άλλου. Επιπρόσθετα, η Μπλέικμορ μας δείχνει πώς η κατανόηση των άλλων και ο κοινωνικός εγκέφαλος συνδέονται με την ανάλυση ρίσκων από πλευράς εφήβων. Οι έφηβοι επιθυμούν να περνούν περισσότερο χρόνο με συνομήλικούς τους και επιδιώκουν την αποδοχή τους. Πολλές φορές αναλαμβάνουν ρίσκα προκειμένου να γίνουν αποδεκτοί από τον άμεσο περίγυρό τους. Τα συμπεράσματα, στα οποία καταλήγει η Μπλέικμορ, είναι πως οι έφηβοι επηρεάζονται περισσότερο από την επιβράβευση παρά από την τιμωρία. Επίσης, δελεάζονται περισσότερο από μια άμεση ανταμοιβή παρά από την αναμονή μιας μεγαλύτερης ανταμοιβής μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτός είναι και ένας λόγος που αρκετές αντικαπνιστικές εκστρατείες δεν εστιάζουν τόσο στα μακροπρόθεσμα οφέλη για την υγεία αλλά στα βραχυπρόθεσμα κοινωνικά οφέλη, όπως την πιθανή απόρριψη από κάποιο άτομο ερωτικού ενδιαφέροντος ή στην παρουσίαση των καπνιστών ως αρνητικών προτύπων. Τέλος, το βιβλίο εστιάζει και σε όλους τους κοινωνικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη του εγκεφάλου κατά την εφηβεία. Για παράδειγμα, το αλκοόλ, τα ναρκωτικά, η χρήση νέων τεχνολογιών επηρεάζουν-με διαφορετικό τρόπο-την ανάπτυξη του εγκεφάλου των εφήβων. Το έργο της Μπλέικμορ είναι μια εξαιρετική εισαγωγή για όσες και όσους θέλουν να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των εφήβων αλλά και τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στον χώρο της νευροεπιστημονικής έρευνας.