



Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΟΙ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΟΝ 21^{ΟΝ} ΑΙΩΝΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

Πρακτικά Ημερίδας
22 Φεβρουαρίου 2021

#SpaceCare

ΔΙΟΡΓΑΝΩΤΕΣ:
Μάρω Κ. Παπαθανασίου
Παναγιώτης Απ. Σίσκος

ISBN: 978-960-466-246-3

Επιμέλεια: Μάρω Κ. Παπαθανασίου



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
Εθνικού και Καποδιστριακού
Πανεπιστημίου Αθηνών

Εκδότης:

ΣΩΜΑ ΟΜΟΤΙΜΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΤΟΥ ΕΚΠΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ

Εικόνα του εξωφύλλου:

Αφίσα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency)
για την Παγκόσμια Ημέρα της Γης, 22 Απριλίου 2021.



ISBN: 978-960-466-246-3

© 2021 ΣΩΜΑ ΟΜΟΤΙΜΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΤΟΥ ΕΚΠΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ

ΣΩΜΑ ΟΜΟΤΙΜΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΤΟΥ ΕΚΠΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ

ΟΙ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΟΝ 21^{ΟΝ} ΑΙΩΝΑ
ΚΑΙ
ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΗΜΕΡΙΔΑΣ
22 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2021

ΔΙΟΡΓΑΝΩΤΕΣ
ΜΑΡΩ Κ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΑΠ. ΣΙΣΚΟΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ
ΜΑΡΩ Κ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΑΘΗΝΑ 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΙΔΑΣ

<i>Χαιρετισμός της Προέδρου του ΣΟΚΠΑ,</i> Ομότ. Καθηγήτριας, Στέλλας Πριόβολου	9
--	---

<i>Πρόλογος των οργανωτών,</i> Ομότ. Καθηγητών Μάρως Κ. Παπαθανασίου, Παναγιώτη Απ. Σίσκου	11
---	----

ΚΕΙΜΕΝΑ ΤΩΝ ΟΜΙΛΙΩΝ ΤΩΝ ΟΜΟΤΙΜΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ

Μαρία Φραγκουλοπούλου: <i>Τα Μαθηματικά στη ζωή μας</i>	15
---	----

Παναγιώτης Γεωργιάδης: <i>Τεχνητή Νοημοσύνη: Μητέρα όλων των επαναστάσεων</i>	41
---	----

Ξενοφών Μουσάς: <i>Η Φυσική του Διαστήματος και εμείς</i>	55
---	----

Μιχαήλ Σκούλλος: <i>Προοπτικές αειφόρου ανάπτυξης στην Ευρώπη και την Μεσόγειο για το 2030</i>	103
--	-----

Θεοχάρης Παταργιάς: <i>Προέλευση και αντιμετώπιση του γήρατος</i>	127
---	-----

<i>ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΤΩΝ ΟΜΙΛΗΤΩΝ</i>	139
--------------------------------	-----

5^ο Πανεπιστήμιο Πολιτών

*Οι θετικές επιστήμες τον 21ον αιώνα
και οι εφαρμογές τους στην κοινωνία*

Δευτέρα 22 Φεβρουαρίου 2021, 5-9 μ.μ.

Διοργανωτές:

Καθηγητές Παναγιώτης Σίσκος και Μάρω Παπαθανασίου

1^ο Μέρος

Συντονίστρια: Ομότ. Καθηγήτρια Μάρω Παπαθανασίου

Χαιρετισμός της Προέδρου του ΣΟΚΠΑ,
Ομότ. Καθηγήτριας Στέλλας Πριόβολου

Ομιλητές οι ομότ. καθηγητές:

1. Μαρία Φραγκουλοπούλου (Τμήμα Μαθηματικών): *Τα Μαθηματικά στη ζωή μας.*
2. Παναγιώτης Γεωργιάδης (Τμήμα Πληροφορικής): *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μητέρα όλων των επαναστάσεων.*
3. Ξενοφών Μουσάς (Τμήμα Φυσικής): *Η Φυσική του Διαστήματος και εμείς.*

2^ο Μέρος

Συντονιστής: Καθηγητής Παναγιώτης Σίσκος

Ομιλητές οι Ομότ. Καθηγητές:

1. Μιχαήλ Σκούλλος (Τμήμα Χημείας): *Προοπτικές αειφόρου ανάπτυξης στην Ευρώπη και την Μεσόγειο για το 2030.*
2. Θεοχάρης Παταργιάς (Τμήμα Βιολογίας): *Προέλευση και αντιμετώπιση του γήρατος.*

ΧΑΙΡΕΤΙΣΜΟΣ

της Προέδρου του ΣΟΚΠΑ
Ομότ. Καθηγήτριας, Στέλλας Πριόβολου

Μετά την εξαιρετική επιτυχία του εκπαιδευτικού προγράμματος του αφιερωμένου στην Ιατρική Επιστήμη με συμμετοχή πενήντα φοιτητών, και εμπνευστή και διοργανωτή τον επ. Πρόεδρό μας κ. Διονύσιο Κόκκινο, προχωρούμε σήμερα με αισιοδοξία στην ημερίδα για τις Θετικές Επιστήμες.

Οι Θετικές Επιστήμες στηρίζονται στην επιστημονική μέθοδο και στους κανόνες της λογικής. Χαρακτηριστικό τους είναι η χρήση των εργαλείων των μαθηματικών, τα οποία εξάλλου είναι σημαντικά και για τις άλλες επιστήμες και την τέχνη. Και είναι αξιοσημείωτο ότι οι εξελίξεις στα Μαθηματικά είχαν δώσει την έμπνευση στον Πάμπλο Πικάσο, ήδη το 1907, να δημιουργήσει το έργο του «Οι δεσποινίδες της Αβινιόν» με τα σώματα των κοριτσιών να αποτελούνται από γεωμετρικές γραμμές, και ορθογώνια και τρίγωνα σχήματα να αναπαριστούν τα μέρη του γυναικείου σώματος.

Στις Θετικές ακριβώς αυτές Επιστήμες, την εξέλιξή τους τον 21ο αιώνα και τις εφαρμογές τους στην κοινωνία είναι αφιερωμένη η ημερίδα του ΣΟΚΠΑ. Χαίρομαι ιδιαίτερα σήμερα που έχουμε κοντά μας ως συνδιοργανωτή και συντονιστή της εκδήλωσης τον αγαπητό σε όλους μας Παναγιώτη Σίσκο, του οποίου δεν λησμονούμε ποτέ το πολύτιμο έργο. Από τη θέση του Γενικού Γραμματέα τίμησε επί χρόνια το Σώμα Ομοτίμων με τις ακαταπόνητες προσπάθειές του για την ανάπτυξη και την πρόοδό του.

Ο Παναγιώτης Σίσκος μαζί με την άξια διάδοχό του Γενική Γραμματέα μας, Μάρω Παπαθανασίου, ανέλαβαν την οργάνωση του εκπαιδευτικού προγράμματος για τις Θετικές Επιστήμες και προσκάλεσαν ως ομιλητές έγκριτους επιστήμονες, καθηγητές του Πανεπιστημίου μας καταξιωμένους στην ειδικότητά τους, τους οποίους ευχαριστώ θερμά για τη σημαντική προσφορά τους στο Σώμα: Από το Τμήμα Μαθηματικών, την κ. Μαρία Φραγκουλοπούλου, από το Τμήμα Φυσικής τον κ. Ξενοφόντα Μουσά, από το Τμήμα Πληροφορικής τον κ. Παναγιώτη Γεωργιάδη, από το Τμήμα Χημείας τον κ. Μιχαήλ Σκούλλο, και από το Τμήμα Βιολογίας, τον κ. Θεοχάρη Παταργιά.

Ευελπιστούμε ότι και το εκπαιδευτικό αυτό πρόγραμμα θα αποτελέσει μια μικρή προσφορά στους νέους επιστήμονες και σε όσους μας τιμούν με τη συμμετοχή τους.

Στέλλα Πριόβολου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΤΩΝ

Ομότ. Καθηγ. Μάρως Κ. Παπαθανασίου

Καθηγ. Παναγ. Σίσκου

Στην τραγωδία «*Προμηθεύς δεσμώτης*» του Αισχύλου (525–456 π.Χ.) ο Προμηθέας, ως προσωποποίηση του Χρόνου, που με την πάροδό του επιτρέπει στον άνθρωπο να αναπτυχθεί και να προοδεύσει, απαριθμεί τις ευεργεσίες του προς την ανθρωπότητα. Αυτός έμαθε στους πρωτόγονους ανθρώπους, πού έως τότε ζούσαν σε ανήλια σπήλαια και δεν καταλάβαιναν τί έβλεπαν και τί άκουαν, πώς να αναγνωρίζουν τις εποχές τους έτους από την ανατολή και την δύση των αστερών, πώς να ανάβουν τη φωτιά, να χτίζουν σπίτια, να κατασκευάζουν καράβια, και γενικά, τούς δίδαξε όλες τις τέχνες (στ. 506 *πᾶσαι τέχναι βροτοῖσιν ἐκ Προμηθέως*). Όμως, ως τις δύο μεγαλύτερες ευεργεσίες του προς τους ανθρώπους αναφέρει την επινόηση του αριθμού και της γραφής (στ. 459–461):

*Καὶ μὴν ἀριθμόν, ἔζοχον σοφισμάτων,
ἐξηῶρον αὐτοῖς, γραμμάτων τε συνθέσεις,
μνήμην ἀπάντων, μουσομήτορ' ἐργάνην.*

Και μάλιστα τον αριθμόν, το ευφύτεστερο επινόημα,
εφηύρα γι' αυτούς, και τις συνθέσεις των γραμμάτων,
μνήμην των πάντων, τέχνη–μητέρα των Μουσῶν.

Πράγματι, τα σύμβολα των αριθμών και τα αριθμητικά συστήματα, καθώς και τα διάφορα είδη γραφής που ανέπτυξαν οι διάφοροι λαοί αποτέλεσαν σταθμούς στην εξέλιξή τους. Με την αριθμητική έλυναν πρακτικά προβλήματα της ζωής τους, για τις σοδιές, τα εργαλεία, τα όπλα, τα αποθέματα τροφίμων, τις συναλλαγές τους, κ.ά. Τα σύμβολα της γραφής, ιδιαιτέρως μετά την επινόηση του αλφαβητικού συστήματος, συνέβαλαν στην καταγραφή των αποκτωμένων γνώσεων, επομένως στην κατοχύρωση της μνήμης τους –πνευματική κληρονομιά για τις επόμενες γενεές– που γεννά και τρέφει τις Μούσες.

Η βαθμιαία αποσύνδεση του αριθμού από ένα συγκεκριμένο πλήθος αντικειμένων και η αναγωγή του σε αυτόνομη νοητική οντότητα γίνεται από τους Πυθαγορείους, οι οποίοι θέτουν τις βάσεις της Θεωρίας των αριθμών. Οι απόψεις τους: πρώτον, ότι η φύση του αριθμού δεν επιδέχεται κανένα ψεύδος· δεύτερον, ότι κάθε τί στην φύση έχει τον δικό του αριθμό και χωρίς αυτόν δεν μπορεί να γίνει γνωστό· τρίτον, ότι χωρίς την τετρακτύν (το άθροισμα $1+2+3+4=10$), η οποία δίνει την μητέρα πάντων, την δεκάδα (δηλαδή το αριθμητικό σύστημα με βάση το δέκα), τα πάντα θα ήσαν άπειρα

και άδηλα και αφανή (αφού δεν θα μπορούσαν να μετρηθούν), αποτελούν προϋπόθεση για την εισαγωγή των μαθηματικών στην μελέτη της φύσεως.

Η ενσωμάτωση της Πυθαγόρειας θεωρίας αριθμών στην Ευκλείδειο γεωμετρία και η Αριστοτελική λογική, η οποία διατυπώνει τους κανόνες συλλογισμού για την εξαγωγή συμπερασμάτων από τα δεδομένα, αποτέλεσαν την βάση για την βαθμιαία ανάπτυξη των λεγομένων Θετικών επιστημών στην διάρκεια των επομένων αιώνων έως σήμερα. Βάσει των μαθηματικών, κάθε μία από αυτές ανέπτυξε και συνεχίζει να αναπτύσσει την δική της συμβολική γλώσσα για την περιγραφή και την κατανόηση του φυσικού κόσμου.

Ιδιαίτερος, από το δεύτερο ήμισυ του 20^{ου} αιώνα και εξής, συντελείται μία αληθινή κοσμογονία στις Θετικές επιστήμες. Στην εκρηκτική πρόοδό τους σημαίνοντα ρόλο παίζουν νέες μαθηματικές θεωρίες που εφαρμόζονται σε αυτές, και τα επιτεύγματα της μοντέρνας τεχνολογίας. Επιστήμες που βασίζονται σε εργαστηριακές εργασίες (π.χ. Φυσική, Χημεία, Βιολογία, Γεωλογία, Ιατρική, κ.ά.) έχουν ανάγκη της σύγχρονης προηγμένης τεχνολογίας για τον καλόν εξοπλισμό των εργαστηρίων τους, για την εκτέλεση ακριβών πειραμάτων και την εκπόνηση πρωτοτύπων επιστημονικών μελετών.

Στον 21^{ον} αιώνα η εξέλιξη των Θετικών επιστημών τρέχει με ρυθμούς, τους οποίους ακόμα και οι ειδικοί δύσκολα μπορούν να ακολουθήσουν. Οι τομείς της μελέτης και των εφαρμογών τους είναι τόσο μεγάλος, ώστε μόνον από τους χιλιάδες κωδικούς αριθμούς της βιβλιοθηκονομίας μπορεί κάποιος να συνειδητοποιήσει τον αριθμό τους.

Το Σώμα των Ομοτίμων Καθηγητών του Πανεπιστημίου Αθηνών (ΣΟΚΠΑ) διοργάνωσε την Δευτέρα, 22 Φεβρουαρίου 2021, 5–9 μ.μ., την εκδήλωση του 5^{ου} Πανεπιστημίου Πολιτών, με τίτλο: «Οι θετικές επιστήμες τον 21^{ον} αιώνα και οι εφαρμογές τους στην κοινωνία». Σκοπός της (διαδικτυακής λόγω κορονοϊού) εκδήλωσης ήταν να δώσει μίαν εικόνα της προόδου των Θετικών επιστημών στον αιώνα μας και την συνεισφορά τους στην ζωή μας, στην κοινωνία.

Η εκδήλωση άρχισε με τον χαιρετισμό της Προέδρου του ΣΟΚΠΑ, ομοτ. καθηγήτριας κας Στέλλας Πριόβολου. Προλόγισε η Γ. Γραμματέας, ομότ. καθηγήτρια κα Μάρω Παπαθανασίου, η οποία συντόνισε και το πρώτο μέρος της εκδήλωσης. Ο καθηγητής κ. Παναγιώτης Σίσκος, πρώην Γ. Γραμματέας και συνδιοργανωτής, συντόνισε το δεύτερο μέρος της.

Η Σχολή των Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αθηνών περιλαμβάνει επτά Τμήματα, τα εξής: Βιολογίας, Γεωλογίας, Μαθηματικών, Πληροφορικής, Φυσικής, Χημείας, και Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Επιστημών. Στην Ημερίδα ομίλησαν πέντε ομότιμοι καθηγητές, καθένας

από διαφορετικό Τμήμα της Σχολής. Οι πέντε ομιλητές και τα θέματα, τα οποία ανέπτυξαν, έχουν ως εξής:

1. Μαρία Φραγκουλοπούλου (Τμήμα Μαθηματικών): *Τα Μαθηματικά στη ζωή μας.*
2. Παναγιώτης Γεωργιάδης (Τμήμα Πληροφορικής): *Τεχνητή Νοημοσύνη: Μητέρα όλων των επαναστάσεων.*
3. Ξενοφών Μουσάς (Τμήμα Φυσικής): *Η Φυσική του Διαστήματος και εμείς.*
4. Μιχαήλ Σκούλλος (Τμήμα Χημείας): *Προοπτικές αειφόρου ανάπτυξης στην Ευρώπη και την Μεσόγειο για το 2030.*
5. Θεοχάρης Παταργιάς (Τμήμα Βιολογίας): *Προέλευση και αντιμετώπιση του γήρατος.*

Οι ομότ. καθηγητές κ.κ. Ηλίας Μαριολάκος (Τμήμα Γεωλογίας) και Διονύσιος Αναπολιτάνος (Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας των Επιστημών) δεν μπόρεσαν να μετάσχουν για προσωπικούς λόγους.

Ο παρών τόμος περιλαμβάνει τον χαιρετισμό της Προέδρου, τα προλεγόμενα των διοργανωτών, τα κείμενα των πέντε ομιλητών και τα βιογραφικά τους. Μαγνητοσκοπημένη η εκδήλωση ευρίσκεται στον ιστότοπο του ΣΟΚΠΑ: www.somaomotinon.uoa.gr

Οι διοργανωτές
Μάρω Κ. Παπαθανασίου
Παναγιώτης Απ. Σίσκος

ΜΑΡΙΑ ΦΡΑΓΚΟΥΛΟΠΟΥΛΟΥ

Ομότιμη καθηγήτρια

Τμήματος Μαθηματικών ΕΚΠΑ

ΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΣΤΗΝ ΖΩΗ ΜΑΣ

Όλοι οι άνθρωποι, απανταχού γης, είτε το συνειδητοποιούν είτε όχι, χρησιμοποιούν τα μαθηματικά στην καθημερινή τους ζωή, π.χ.:

Κάνοντας τις προμήθειες τους στο supermarket, ή σε άλλα καταστήματα: συγκρίνοντας τιμές, μη υπερβαίνοντας τα χρήματα που επιθυμούν να διαθέσουν, μην ξεχνώντας την ποσότητα των προϊόντων που έχουν ανάγκη να αγοράσουν.

Στην μαγειρική, έχοντας να εκτελέσουν μία συγκεκριμένη συνταγή.

Στην κοπτική – ραπτική, κάνοντας από πριν το σχέδιο του ενδύματος, που πρέπει να ετοιμάσουν.

Στην γεωργία, δημιουργώντας τετράγωνα ή ορθογώνια, τα οποία πρέπει να αυλακώσουν και στην συνέχεια να φυτέψουν τους σπόρους, που έχουν επιλέξει.

Στην κατασκευή παντός είδους μηχανών ή χρηστικών ειδών, κλπ, κλπ.

Τα μαθηματικά συμμετέχουν στην μελέτη του φυσικού, βιολογικού και κοινωνιολογικού κόσμου. Σε έναν σύγχρονο κόσμο, δεν είναι μόνον σχετικά με την ζωή σε μία οργανωμένη κοινωνία, αλλά είναι ζωτικής σημασίας. Οι σύγχρονοι τομείς των μαθηματικών περιλαμβάνουν εκτός άλλων, την μαθηματική βιολογία, την βιοστατιστική, την θεωρία ελέγχου, την αεροδιαστημική μηχανική και την χρηματοοικονομική. Για την μαθηματική έρευνα σήμερα, είτε αυτή αναφέρεται σε θεωρητικά μαθηματικά, ή σε εφαρμοσμένα, απαιτείται εξειδίκευση και σε άλλες επιστήμες. Αυτό καθιστά πολλές φορές απαραίτητες τις συνεργασίες, των οποίων η αποδοτικότητα, τις περισσότερες φορές, αποφέρει πολύ ουσιαστικά αποτελέσματα.

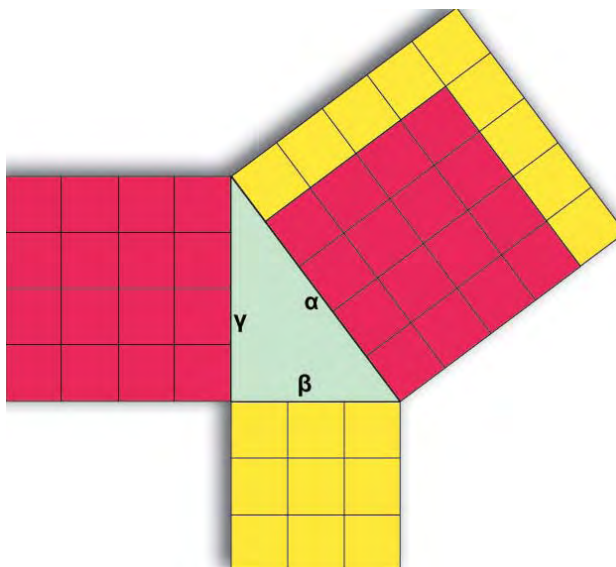
Ιδιαίτερα, μέσω των μαθηματικών δημιουργούνται μέθοδοι, που επιλύουν προβλήματα σε πολλές επιστήμες και τέχνες, όπου στην συνέχεια θα αναφερθούμε σε κάποιες από αυτές. Η κοινή προσέγγιση στα μαθηματικά μέσω άλλων επιστημών και τεχνών είναι η δημιουργία ενός ευέλικτου και αξιόπιστου μαθηματικού μοντέλου, το οποίο να ανταποκρίνεται με τον καλλίτερο δυνατόν τρόπο στην επίλυση του προβλήματος, για το οποίο το μοντέλο επινοήθηκε. Στην συνέχεια, είναι απαραίτητη, η ανάπτυξη προτάσεων για βελτίωση της απόδοσης του μοντέλου.



Εικ. 1. Ο Πυθαγόρας.
Domenico Cunego, 1782

Ας θυμηθούμε τώρα την περίφημη ρήση του Πυθαγόρα (580 – 490, π.Χ.)

«πάντα κατ' αριθμόν γίνονται» (τα πάντα γίνονται σύμφωνα με αριθμούς), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί και ως τίτλος Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Μαθηματικής Εταιρείας (ΕΜΕ), το 2017.¹ Πριν προχωρήσουμε στην πρώτη μας ενότητα, όπου θα αναφερθούμε εκτός άλλων και στην γνώμη κάποιων διακεκριμένων επιστημόνων γι' αυτήν την ρήση, παραθέτουμε μία εικόνα του Πυθαγόρα και του Πυθαγορείου Θεωρήματος:



Εικ. 2. Το Πυθαγόρειο Θεώρημα

Ας δούμε ακόμα, δύο άλλες πολύ μεταγενέστερες ρήσεις επιφανών επιστημόνων, για την συνεισφορά των μαθηματικών στην κοινωνία: “*Mathematics is a way to settle in the mind of children a habit of reasoning*” (Τα μαθηματικά είναι ένας τρόπος για να εξοικειωθούν τα παιδιά, με την επιχειρηματολογία).

John Locke (1632–1704), Βρετανός Φιλόσοφος και Ιατρός.

¹ Ο. Χρυσάφινου, *Μαθηματικά και Βιολογία: Μια Ισχυρή Διασύνδεση*. Διάλεξη στο 34ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΜΕ, με τίτλο: «Πάντα κατ'αριθμόν γίνονται», Λευκάδα, Νοέμβριος 2017. Βλ. ιστότοπο: www.hms.gr/?q=node/1283

“Mathematics is the science, which draws necessary conclusion” (Τα μαθηματικά είναι η επιστήμη, που καταλήγει στο απαραίτητο συμπέρασμα). Benjamin Peirce (1809–1880), Αμερικανός μαθηματικός, Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Harvard.

I. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ και ΒΙΟΛΟΓΙΑ – ΦΥΣΙΚΗ

Για μία ενδιαφέρουσα διασύνδεση Μαθηματικών και Βιολογίας και πολύ περισσότερα, π.χ. συνέντευξη των διαπρεπών Ελλήνων επιστημόνων Φώτη Καφάτου και Θανάση Φωκά,² ο αναγνώστης παραπέμπεται στην ομιλία της συναδέλφου, ομότ. καθηγήτριας Ουρανίας Χρυσάφινου, στο προαναφερθέν συνέδριο της ΕΜΕ, με τίτλο «Μαθηματικά και Βιολογία».³

Παραθέτουμε κάποια στοιχεία από αυτήν την πλούσια σε πληροφορίες ομιλία.

1. Ερώτηση δημοσιογράφου: Ο μεγάλος μαθηματικός και φιλόσοφος Πυθαγόρας διακήρυττε ότι οι αριθμοί είναι αυτή η ίδια η αλήθεια, η ουσία του κόσμου, γι’ αυτό και είναι ιεροί.

Απάντηση Θανάση Φωκά: Θα ήταν παράλογο να λέγαμε ότι το κέντρο του κόσμου είναι οι αριθμοί. Από την άλλη μεριά, όντως τα μαθηματικά παίζουν σημαντικό ρόλο στην αναζήτηση της αλήθειας, στην κατανόηση της ουσίας των πραγμάτων. Ας μην ξεχνάμε, ότι τα μαθηματικά χαρακτηρίζονται από δύο κεντρικά στοιχεία, από ένα μεγάλο επίπεδο πολυπλοκότητας και από μία εγγενή αισθητική. Η ύπαρξη αισθητικής στα μαθηματικά είναι νομοτελειακή, γιατί τα μαθηματικά εκφράζουν αλήθεια και η ομορφιά είναι η σφραγίδα της αλήθειας.

2. E.P. Wigner: Ο συγγραφέας στο τέλος της εργασίας του παρατηρεί:⁴

«Επιτρέψτε μου να ολοκληρώσω με μια πιο χαρούμενη νότα. Το θαύμα της καταλληλότητας της γλώσσας των μαθηματικών για την διαμόρφωση των νόμων της φυσικής είναι ένα θαυμάσιο δώρο, που ούτε καταλαβαίνουμε, ούτε αξίζουμε. Θα πρέπει να είμαστε ευγνώμονες γι’ αυτό και να ελπίζουμε ότι θα παραμείνει εν ισχύ στην μελλοντική έρευνα και ότι θα επεκταθεί, σε διευρυνμένους κλάδους μάθησης, προς το καλύτερο ή προς το χειρότερο, προκαλώντας μας ευχαρίστηση, ή και ίσως αμηχανία».

2 Βλ. ιστότοπο: www.damtp.cam.ac.uk/user/tf227/tziotzios.pdf

3 Βλ. σημ. 1.

4 “Let me end on a more cheerful note. The miracle of the appropriateness of the language of mathematics for the formulation of the laws of physics is a wonderful gift, which we neither understand nor deserve. We should be grateful for it and hope that it will remain valid in future research and that it will extend, for better or for worse, to our pleasure even though perhaps also to our bafflement, to wide branches of learning”. E.P. Wigner, The unreasonable effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences, Commun. In Pure and Appl. Math., 13 (1960), 1–14.

3. A.M. Lesk: Σαράντα χρόνια πέρασαν από την δημοσίευση του E.P. Wigner, οπότε μία καινούργια εργασία με παρόμοιο τίτλο δημοσιεύτηκε το 2000, από τον Καθηγητή Βιοχημείας και Μοριακής Βιολογίας A.M. Lesk, στο Pennsylvania State University της Αμερικής.⁵ Ο εν λόγω Καθηγητής, οδηγούμενος από την εμπειρία του, καταλήγει στα εξής συμπεράσματα:

Για την κατανόηση της βιολογίας πρέπει να γνωρίζουμε χημεία.

Για την κατανόηση της χημείας πρέπει να γνωρίζουμε φυσική.

Για την κατανόηση της φυσικής πρέπει να γνωρίζουμε μαθηματικά.

Συνεπώς, αγγίζουμε την κατανόηση της βιολογίας, ακολουθώντας την αλυσίδα: Μαθηματικά – Φυσική – Χημεία.

4. J.E. Cohen: Σχετικά πρόσφατα, άρχισαν να ακούγονται και θετικές απόψεις, που λένε ότι «πραγματική επαφή μεταξύ δύο κλάδων σημαίνει ίσοι εταίροι» και ότι «σημαντικές συνεισφορές μπορούν να προέλθουν στην πραγματικότητα, και από τις δύο κατευθύνσεις». Αυτή η αισιόδοξη άποψη εκφράστηκε με σαφήνεια το 2012 στον τίτλο της εργασίας του μαθηματικού και βιολόγου J.E. Cohen. Δηλαδή ο Cohen εξηγεί στην εργασία του ότι: «τα Μαθηματικά είναι ένα αναδυόμενο μικροσκόπιο για την Βιολογία και η Βιολογία αναδυόμενη Φυσική για τα Μαθηματικά, όσον αφορά στην επίλυση των προβλημάτων, που αναφέρονται».⁶

Παραθέτουμε, επί πλέον, τις ακόλουθες θετικές απόψεις, για τον ρόλο των Μαθηματικών στην Βιολογία και την Φυσική:

Ο B. Sturmfels, το 2005, στην εργασία του με τίτλο την ερώτηση “Can biology lead to new theorems?” (Μπορεί η Βιολογία να οδηγήσει σε νέα θεωρήματα;)⁷ απαντά θετικά και με κίνητρο την βιολογία, αναφέρει 4 θεωρήματα,⁸ τα οποία προσφέρονται στα μαθηματικά. Στα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται μετρικοί χώροι⁹ προερχόμενοι από ένα μικρό αριθμό DNA ακολουθιών ζωϊκών οργανισμών (π.χ. 6

5 A.M. Lesk, The unreasonable effectiveness of Mathematics in Molecular Biology, Mathematical Intelligencer No 2, 22 (2000), 28-37.

6 J.E. Cohen, Mathematics is Biology’s Next Microscope, Only Better; Biology is Mathematics, Next Physics, Only Better, PLOS Comput. Biology No 6, 2 (2004).

7 B. Sturmfels, Can Biology Lead to New Theorems? Clay Mathematics Institute, Annual Report, 2005. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://groups.claymath.org/library/annual_report/ar2005/05report_featurearticle.pdf

8 Πρβλ. H-J. Bandelt and A. Dress, A Canonical Decomposition Theory for Metrics on a Finite Set, Advances in Mathematics 92 (1992), 47–105. W. Busczynska and J. Wisniewski, On phylogenetic trees – A geometer’s view, math. AG/0601357. S. Elizalde and K. Woods, Bounds on the number of inference functions on a graphical model, formal power series and algebraic combinatorics, (FPSAC 18), San Diego, June 2006. S. Levin, (ed.), Mathematics and Biology: The interface. Challenges and opportunities, Univ. of California, 1992. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.bio.vu.nl/nvtb/Contents.html>

9 Πρβλ. B. Sturmfels, ως σημ. 7, σελ. 22, §2.

μελισσών) και για την απόδειξή τους χρησιμοποιούνται: προχωρημένη άλγεβρα, αλγεβρική τοπολογία, διαφορική γεωμετρία, συνδυαστική, κλπ. Περαιτέρω, ο συγγραφέας σημειώνει στην εισαγωγή του, ότι πολλοί αναρωτιούνται σχετικά με τις αμφιβολίες, που έχουν διατυπωθεί για την σχέση Μαθηματικών – Βιολογίας, πως είναι δυνατόν τίποτα να μην έχει αλλάξει, παρά τα 20 χρόνια, που έχουν περάσει από τη διάσημη και ευρέως αναφερθείσα φράση του Gian-Carlo Rota: “*The lack of real contact between mathematics and biology is either a tragedy, a scandal, or a challenge, it is hard to decide which*”. (Η έλλειψη πραγματικής επαφής μεταξύ μαθηματικών και βιολογίας είναι, είτε μία τραγωδία, ένα σκάνδαλο, ή μία πρόκληση, είναι δύσκολο να αποφασίσεις τι.)¹⁰

Αλλά όπως είδαμε παραπάνω, υπήρξε αντιστροφή των απόψεων αυτών, με τις εργασίες των J.E. Cohen και B. Sturmfels.

Σχετικά με τα Μαθηματικά και την Φυσική ο B. Sturmfels σημειώνει επίσης στην εισαγωγή του ότι: «*Η Φυσική παραμένει η χρυσή σταθερά για τα Μαθηματικά, δεδομένης της πραγματικής επαφής και του αμοιβαίου σεβασμού τους*», για μία πραγματικά μεγάλη χρονική περίοδο. Είναι όντως αλήθεια, ότι η αμφίδρομη επικοινωνία Μαθηματικών και Φυσικής έχει να παρουσιάσει σημαντικά αποτελέσματα στην Θεωρητική Φυσική, την Κβαντική Θεωρία Πεδίου, την Στατιστική Μηχανική (ένα από τα θεμελιώδη εργαλεία της μοντέρνας φυσικής, που αναδύθηκε από την ανάπτυξη της κλασσικής Θερμοδυναμικής), την Κβαντική Δυναμική, κλπ.

Ο E. Zaslow¹¹ συνοψίζει αυτή την κατάσταση σε μία διάλεξη με τίτλο “*Physmatics*” (Physics – Mathematics) στο *Fields Institute* (Τορόντο – Καναδάς), τον Ιούνιο του 2005, ως εξής: «*Η αλληλεπίδραση μεταξύ μαθηματικών και φυσικής έχει γίνει πρόσφατα τόσο βαθιά, που οι γραμμές έχουν πλέον ξεθωριάσει. Οι δύο κλάδοι, επί μακρόν συμπληρωματικοί, έχουν αρχίσει μία εμβριθή και θεμελιώδη σχέση*».

Ο συγγραφέας λέει επίσης: «*Χρησιμοποιώ την λέξη “Physmatics” για να περιγράψω αυτόν τον νέο σύνδεσμο μεταξύ φυσικής και μαθηματικών, έναν σύνδεσμο που ενοποιεί τις πιο θεωρητικές και αφηρημένες πτυχές αυτών των επιστημών*».

Και συνεχίζει: «*Ο Edward Witten*,¹² ο μόνος φυσικός προς διεκδίκηση του “*Fields Medal*”, της ύψιστης τιμής στα μαθηματικά, έχει συνοψίσει τις νέες εξελίξεις στα μαθηματικά και την φυσική, ως εξής:

10 M. Kac, G-C. Rota and J.T. Schwartz, *Discrete Thoughts*, Birkhaeuser, Boston, 1986, σελ. 2.

11 E. Zaslow, *Physmatics*, public lecture given at the Fields Institute, June 2, 2005, as part of the Clay Senior Scholars Program. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.fields.utoronto.ca/programs/scientific/04-05/string-theory/CMI/physmatics.1.pdf>

12 Frontline (India), 2001.

Νομίζω ότι υπάρχει κάποια αλλαγή. Αν επιστρέφατε στον 19ο αιώνα ή νωρίτερα, μαθηματικοί και φυσικοί έτειναν να είναι οι ίδιοι άνθρωποι. Αλλά τον 20ο αιώνα, τα μαθηματικά έγιναν πολύ ευρύτερα και με πολλούς τρόπους πολύ πιο αφηρημένα. Αυτό, που έχει συμβεί τα τελευταία, περίπου 20 χρόνια, είναι ότι ορισμένοι τομείς των μαθηματικών, που φαίνονταν να είναι τόσο αφηρημένοι, ώστε να μην είναι πλέον συνδεδεμένοι με την φυσική, απεδείχθη ότι σχετίζονται με την νέα κβαντική φυσική, τις θεωρίες κβαντικών μετρητών (quantum gauge theories), και ιδιαίτερα τις υπερσυμμετρικές θεωρίες (supersymmetric theories) και θεωρίες χορδών (string theories), που οι φυσικοί αναπτύσσουν τώρα».

II. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ και ΙΑΤΡΙΚΗ

Όλο το διάστημα της πανδημίας, παρακολουθώντας τις ανακοινώσεις των λοιμωξιολόγων και διαβάζοντας άρθρα Ελλήνων και αλλοδαπών διακεκριμένων επιστημόνων, σχετικά με την συμπεριφορά και εξάπλωση του covid-19, όλοι έχουν πεισθεί για τον ουσιαστικό ρόλο, που τα μαθηματικά έχουν παίξει και παίζουν στην ιατρική, μέσω καταλλήλων αλγορίθμων και αποτελεσματικών μαθηματικών μοντέλων. Ένα παράδειγμα, που ανταποκρίνεται επιτυχώς στα προλεχθέντα, είναι η διαδικτυακή διάλεξη της αναπληρ. Καθηγήτριας της Ιατρικής Σχολής του ΕΚΠΑ, Βάνας Σύψα, με τίτλο «*Τα μαθηματικά στην πανδημία covid-19*».¹³

Η Βάνα Σύψα, πτυχιούχος Μαθηματικών (ΕΚΠΑ), με μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην «Βιομετρία» (Πανεπιστήμιο Reading, HB) και διδακτορικό στην «Επιδημιολογία και Ιατρική Στατιστική» (ΕΚΠΑ), ανέλυσε και εξήγησε με σαφήνεια, τι ακριβώς μετράει το γνωστό μας από τις τηλεοπτικές συνεντεύξεις για την πανδημία R_0 , που αντιστοιχεί στον βασικό αριθμό αναπαραγωγής κρουσμάτων. Το R_0 υπολογίζεται από το γινόμενο τριών παραμέτρων $[c, p, d]$, όπου το c αντιστοιχεί στον μέσο αριθμό επαφών ενός κρούσματος στη μονάδα του χρόνου, το p στην πιθανότητα μετάδοσης ανά επαφή, και το d στην διάρκεια μολυσματικότητας. Όταν το R_0 είναι μικρότερο του αριθμού 1, τότε η εξάπλωση του ιού πιθανόν δεν εξελίσσεται σε πανδημία, αλλά αν το R_0 είναι μεγαλύτερο του αριθμού 1, τότε είναι πιθανόν να εξελιχθεί σε πανδημία.

Το R_0 χρησιμοποιείται ακόμα μαζί με άλλες παραμέτρους για να υπολογίσει την γνωστή μας επίσης ποσότητα R , που μας δίνει τον ενεργό αριθμό αναπαραγωγής του ιού στην κοινότητα, ή για να προσδιορίσει την τιμή p της συλλογικής ανοσίας (ή ανοσίας της αγέλης), που επιτυγχάνεται όταν ισχύει η ανισότητα $p > 1 - (1/R_0)$.

¹³ Β. Σύψα, *Τα Μαθηματικά στην πανδημία covid-19*, Ομιλία στην ομώνυμη διαδικτυακή ημερίδα, που διοργανώθηκε από την ΕΜΕ, στις 24 Ιανουαρίου, 2021, βιντεοσκοπημένη εις <http://www.hms.gr/?q=node/1721>

Μια και αναφερόμαστε στην επίδραση των μαθηματικών στην ιατρική, ας αναφερθούμε σύντομα στην βιοστατιστική, η οποία ασχολείται με δεδομένα που σχετίζονται με ζώντες οργανισμούς και εξετάζει ερωτήματα που αναφύονται στην ιατρική, την βιολογία και την δημόσια υγεία. Παραδείγματος χάριν, ερευνά:

- αν ένα νέο φάρμακο είναι ασφαλές και αποτελεσματικό,
- τι προκαλεί καρκίνο και άλλες ασθένειες,
- πόσο καιρό ένα άτομο με μια συγκεκριμένη ασθένεια είναι πιθανό να επιβιώσει,
- αναλύει δεδομένα από γεωργικά πειράματα, για αύξηση της παραγωγικότητας.

Επί πλέον, αναζητεί βελτιωμένες ιατρικές θεραπείες, μελετώντας με προσοχή, πειράματα που συγκρίνουν καινούργιες ιατρικές αγωγές με την τρέχουσα τεχνολογία. Αυτά γίνονται σε συνεργασία με ιατρικές ομάδες, έτσι ώστε να σχεδιαστούν τα απαραίτητα πειράματα και να αναλυθούν τα δεδομένα, που προκύπτουν από αυτά. Ακόμα, η βιοστατιστική μελετά την ρύπανση του περιβάλλοντος και τις επιπτώσεις της στην υγεία. Ενδέχεται, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται, να είναι είτε ελλιπή, ή με μειωμένη ακρίβεια. Αλλά, με την βοήθεια της στατιστικής, υπάρχει δυνατότητα να αποκαλυφθεί η σημασία τους.

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν δημοσιευθεί πολλές εργασίες, με αντικείμενο τα μαθηματικά ως εργαλείο, που συμβάλλει στην διάσωση διαφόρων ασθενειών.¹⁴ Οι συγγραφείς P.S. Kim, P.P. Lee, D. Levy, συνδυάζοντας νέα βιολογικά δεδομένα και μαθηματική μοντελοποίηση, βρήκαν κανόνες για τον σχεδιασμό προσαρμοστικών θεραπειών για κάθε συγκεκριμένο ασθενή, με χρόνια μυελογενή λευχαιμία. Αυτό επετεύχθη, μετρώντας την ισχύ της ανοσοανταπόκρισης κάθε ασθενούς και την δραστηριότητα των «αντιλευχαιμικών T κυττάρων», σε διαφορετικούς χρόνους, κατά την διάρκεια θεραπείας με το φάρμακο ‘imatinib’. Όμως, η εν δυνάμει ανοσοανταπόκριση καθενός από τους νοσούντες είναι διαφορετική. Όπως αναφέρουν οι ερευνητές, εκεί είναι που πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα μαθηματικά. Μέσω αυτών, ανακαλύπτονται εξατομικευμένες θεραπείες, εξετάζοντας τις παραμέτρους του εκάστοτε ασθενούς, ώστε να βρεθεί, τότε η φαρμακευτική δοσολογία θα είναι πιο αποτελεσματική. Είναι τα μαθηματικά, που προσφέρουν τα εργαλεία για τον προσδιορισμό της

14 Πρβλ. S. Chulián, A. Martínez-Rubio, A. Rosa, V.M. Pérez-García, *Mathematical models of leukaemia and its treatment: A review*, arXiv:2011.05881v1 [q-bio.TO] 4 Nov 2020. P.S. Kim, P.P. Lee, D. Levy, *A PDE model for imatinib-treated chronic myelogenous leukemia*, Bulletin of Mathematical Biology No 7, 70 (2008), 1994–2016. Επίσης, <https://www.sciencedaily.com/search/?keyword=Mathematics+and+medicine>

κατάλληλης θεραπείας για τον ασθενή. Βεβαίως, κάποιες από τις ιατρικές παραμέτρους μπορούν να εξετασθούν σε εργαστήριο. Όμως, το μαθηματικό μοντέλο συνεισφέρει στην κατανόηση των μηχανισμών, που ελέγχουν την νόσο και υποδεικνύει πως να χρησιμοποιηθεί η παρασχεθείσα γνώση προς όφελος των ασθενών.

Οι συγγραφείς S. Chulián κ.ά. παρατηρούν ότι υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την χρήση μαθηματικών μοντέλων στην ογκολογία, με σκοπό την συλλογή συμπερασμάτων και προβλέψεων, που θα εμπλουτίσουν με νέες πληροφορίες τα πειραματικά βιοϊατρικά μοντέλα. Το άρθρο τους είναι μία ανασκόπηση της κατάστασης της τέχνης της μαθηματικής μοντελοποίησης, ως προς την εν δυνάμει ανάπτυξη της λευχαιμίας με την πάροδο του χρόνου και την ανταπόκριση της θεραπείας, που εφαρμόζεται. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφουν τις μαθηματικές μεθοδολογίες και τα βιολογικά χαρακτηριστικά, που λαμβάνονται υπ' όψιν στην μοντελοποίηση και στα συμπεράσματα κάθε μελέτης. Με τον τρόπο αυτό, παρέχουν στους ερευνητές αυτού του τομέα, ένα στέρεο υπόβαθρο, προκειμένου να επιτευχθούν περαιτέρω ανακαλύψεις στον κλάδο της μαθηματικής βιολογίας.

Κάποια από τα μαθηματικά μοντέλα που αναφέρονται, χρησιμοποιούν σύνολα συνήθων διαφορικών εξισώσεων για τις διάφορες εστίες φυσιολογικών κυττάρων, καθώς και για τις διάφορες εστίες λευχαιμικών κυττάρων.¹⁵ Υπάρχουν και μελέτες, οι οποίες χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα θεραπείας, για άλλες μορφές λευχαιμίας.¹⁶

III. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ και ΤΕΧΝΗ

Τα μαθηματικά και η τέχνη σχετίζονται με διάφορους τρόπους. Τα ίδια τα μαθηματικά έχουν περιγραφεί ως τέχνη, με κίνητρο την ομορφιά. Εξ άλλου είναι γνωστή η συμβολή τους στην μουσική, τον χορό, την ζωγραφική, την αρχιτεκτονική, την γλυπτική, τα υφάσματα, την κλωστοϋφαντουργία, κλπ. Η σχέση μαθηματικών και τέχνης είναι γνωστή από την αρχαιότητα. Από τον 4ον π.Χ. αιώνα, τα μαθηματικά έχουν χρησιμοποιηθεί από τους καλλιτέχνες. Είναι γνωστό, ότι ο γλύπτης *Πολύκλειτος*, σύγχρονος του *Φειδία*, είχε γράψει ένα βιβλίο με τίτλο «*Κανών*», στο οποίο αποτύπωσε τις αρχές της τέχνης του, που αποσκοπούσαν στις σωστές αναλογίες του

¹⁵ Πρβλ. S. Chulián κ.ά, *ως σημ. 14*, σελ. 5.

¹⁶ T. Stiehl, A. Marciniak-Czochra, *Mathematical modeling of leukemogenesis and cancer stem cell dynamics*, Mathematical Modelling of Natural Phenomena No 1, 7 (2012), 166–202. T. Stiehl, N. Baran, A.D. Ho, A. Marciniak-Czochra, *Cell division patterns in acute myeloid leukemia stem-like cells determine clinical course: A model to predict patient survival*, Cancer Research No 6, 75 (2015), 940–949.

ανθρωπίνου σώματος και των μελών του. Ανέλυσε θεωρητικά το κάλλος του ανθρωπίνου σώματος, σε πλήρες σύστημα αναλογιών, συνιστώντας αρμονία συμμετριών. Το γλυπτό έργο του «*Δορυφόρος*» ονομάζεται επίσης «*Κανών*», δεδομένου ότι αποτέλεσε το φυσικό αρχέτυπο κάλλους του γυμνού ανδρικού σώματος, ούτως ώστε οι καλλιτέχνες να το ακολουθούν ως «*Νόμον*» της κοσμικής ύπαρξης. Ο ίδιος ο Πολύκλειτος δημιούργησε αυτήν καθ' εαυτήν την τέχνη, έχοντας φιλοτεχνήσει το τέλει έργο τέχνης.¹⁷

Στην συνέχεια, θα αναφερθούμε σε τρεις διάσημους καλλιτέχνες, των οποίων τα ονόματα είναι συνδεδεμένα με τα μαθηματικά: τον Wassily Kandinsky, τον Maurits Cornelis Escher και τον Kazimir Malevich.

(α) Ο Wassily Kandinsky (1866–1944),¹⁸ Ρώσος ζωγράφος και θεωρητικός της τέχνης, ήταν μία εξέχουσα μορφή της ζωγραφικής του 20ού αιώνα, που θεωρείται πρωτοπόρος της αφηρημένης τέχνης. Πέρασε την παιδική του ηλικία στην Οδησό, όπου αποφοίτησε από την σχολή 'Grekov Odessa Art School'. Στην συνέχεια σπούδασε νομικά και οικονομικά στο Πανεπιστήμιο της Μόσχας και εξελέγη Καθηγητής στην Έδρα του Ρωμαϊκού Δικαίου, στο Πανεπιστήμιο Tartu της Εσθονίας (ένα από τα παλαιότερα πανεπιστήμια της Ευρώπης). Ξεκίνησε σπουδές ζωγραφικής στην ηλικία των 30 ετών.

Ο Kandinsky δεν ήταν μαθηματικός, αλλά σεβόταν το αντικείμενο αυτό και πολλές από τις ιδέες του ήταν εκ φύσεως μαθηματικές, ή τις εξέφραζε με μαθηματικό τρόπο. Η Γεωμετρία τον ενδιέφερε ιδιαίτερα και αυτό είναι φανερό στους πίνακές του.¹⁹

Εξομολογείτο ότι δεν κατάφερε ποτέ να ανταπεξέλθει τις αρχικές του δυσκολίες με τα μαθηματικά.²⁰ Παρ' όλα αυτά, βασίζεται στην μαθηματική ορολογία, πολύ συχνά, για να περιγράψει τις ιδέες του, οι οποίες στο σχήμα και στο χρώμα ήταν σαν αξιώματα. Ο Kandinsky χρησιμοποιούσε ποικίλα μαθηματικά σχήματα στους πιο αφηρημένους πίνακές του, όπως ομόκεντρους κύκλους, ανοικτές και κλειστές γραμμές (π.χ. ελλείψεις, παραβολές), τρίγωνα, πολύεδρα, καμπύλες, πλέγματα γραμμών, κλπ, ώστε να καταφέρει ένα αισθητικό αποτέλεσμα αντάξιο του κάλλους των

17 <https://el.wikipedia.org/wiki/Πολύκλειτος>

18 K. Kattchee, *Kandinsky, Math Artist?* Proceedings of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture; σελ. 473–476. Επίσης, https://en.wikipedia.org/wiki/Wassily_Kandinsky

19 W. Kandinsky (1923), *Circles in a Circle*, (Oil on canvas), Philadelphia Museum of Art, USA. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.wassilykandinsky.net/work-247.php> Επίσης, W. Kandinsky, *Point and Line to Plane*, Published by S.R. Guggenheim Foundation, for the museum of non-objective Painting, New York, 1947; originally published in 1926.

20 V. van Otterdijk, *Kandinsky meets math.*, σελ. 16, διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://verava-notterdijk.nl/portfoliodocs/GR_report1.pdf

θεωρημάτων. Γι' αυτό και έτυχε ευρείας αποδοχής από τους σύγχρονους του μαθηματικούς.²¹

Στους πίνακες του Kandinsky υπάρχει πάντα μία αντιστοιχία μεταξύ γεωμετρικών σχημάτων, χρωμάτων και συναισθημάτων.

Οι οριζόντιες γραμμές αντιστοιχούν στην ζεστασιά,
οι κατακόρυφες στην ψυχρότητα,
ενώ οι διαγώνιες σε συνδυασμό και των δύο.

Το κίτρινο χρώμα αντιστοιχεί σε οξυγόνιο τρίγωνο,
το κόκκινο σε ορθογόνιο τρίγωνο, και
το μπλε σε αμβλυγόνιο τρίγωνο.

Ενώ, η ευθεία γραμμή, η τεθλασμένη γραμμή και η καμπύλη αντιστοιχούν στην γέννηση, την νιότη και την ωριμότητα, αντίστοιχα.

Ο Kandinsky έχει αναπτύξει ολόκληρη θεωρία πάνω στις προηγούμενες αντιστοιχίες και στις αντιθέσεις σχημάτων και χρωμάτων, με σκοπό την ανάδειξη των συναισθημάτων του. Ο ζωγράφος αναφέρει:²²

The final abstract expression of art is number (η τελική αφηρημένη έκφραση της τέχνης είναι αριθμός).

The life of the spirit may be graphically represented as a large acute-angled (η ζωή του πνεύματος μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά ως μία μεγάλη οξεία γωνία).

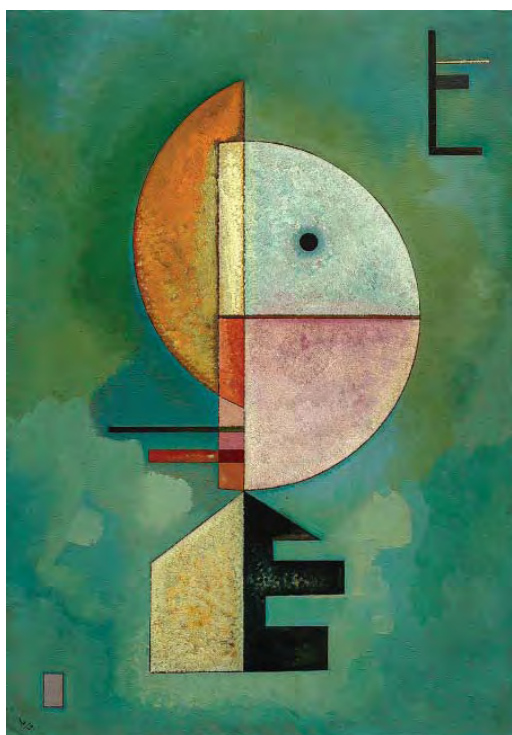
Ακολουθούν έργα του Kandinsky και στην Εικ. 5, ο ίδιος ο Kandinsky:



Εικ. 3. Τετράγωνα με ομόκεντρους κύκλους

21 W. Kandinsky, *Point and Line to Plane*, ως σημ. 19.

22 W. Kandinsky, *Concerning the Spiritual in Art*, Published by S.R. Guggenheim Foundation, for the museum of non-objective Painting, New York City, 1946, Hilla Rebay, Editor, σελ. 73, 77. The original work was published in 1910. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.csus.edu/indiv/o/obriene/art206/onspiritualinart00kand.pdf>



Εικ. 4. Προς τα πάνω



Εικ. 5. Wassili Kandinsky



Εικ. 6. Διαγώνιος

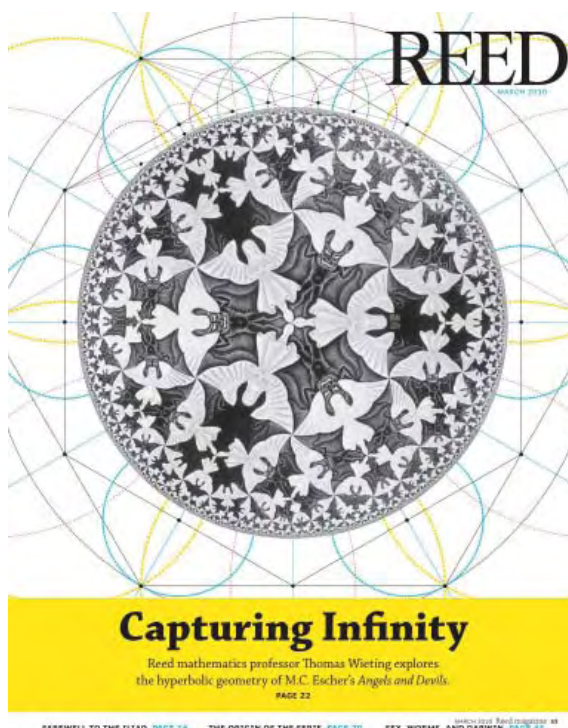


Εικ. 7. Στην μαύρη πλατεία



Εικ. 8. Κύκλοι σε κύκλο

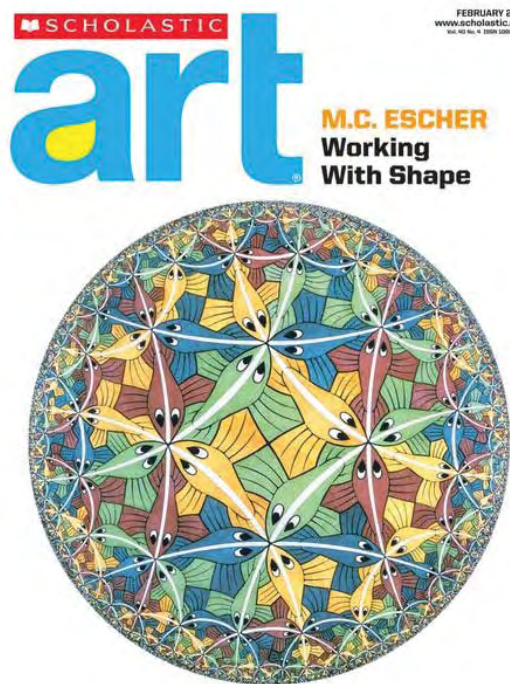
(β) Ο Maurits Cornelis Escher (1898–1972),²³ γνωστός Ολλανδός γραφίστας, ο οποίος έκανε ξυλογραφίες, λιθογραφίες και χαλκογραφίες, εμπνεόμενος από τα μαθηματικά και ιδιαίτερα από την γεωμετρία. Μοναδικός σκοπός του ήταν να καταλάβει τις διάφορες μαθηματικές έννοιες και να τις εφαρμόσει στην τέχνη του. Γι' αυτό και συμβουλευόταν δημοσιεύσεις στα μαθηματικά και συνομιλούσε με μαθηματικούς. Λέγεται ότι αρνιόταν ότι είχε οποιαδήποτε ικανότητα στα μαθηματικά, παρ' ότι διεξήγαγε την δική του μαθηματική έρευνα, κάποιο μέρος της οποίας προέβλεψε μετέπειτα μαθηματικές ανακαλύψεις. Η εμμονή του ήταν η αναπαράσταση του απείρου.²⁴



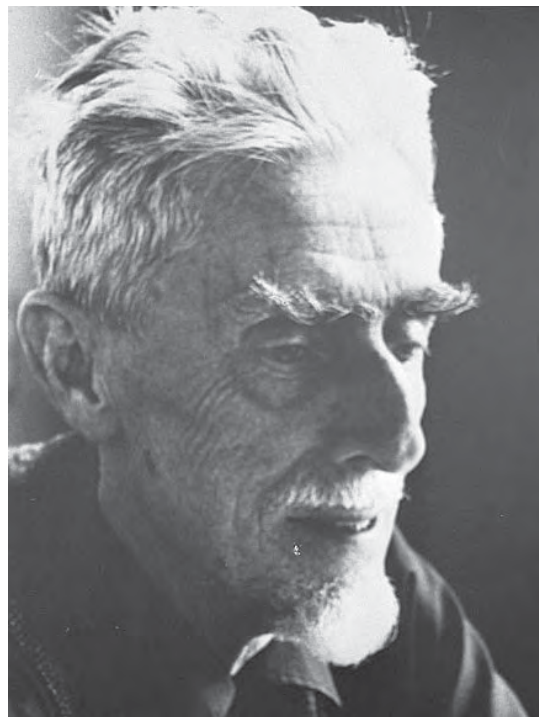
Εικ. 9. Capturing infinity

²³ https://en.wikipedia.org/wiki/M._C._Escher

²⁴ D. Schattschneider, *The Mathematical Side of M. C. Escher*, Notices of the Amer. Math. Soc. No 6, 57 (2010), 706–718. Επίσης, https://en.wikipedia.org/wiki/M._C._Escher



Εικ. 10. Circle limit III.
1959, ξυλογραφία



Εικ. 11. Maurits Cornelis Escher



Εικ. 12. Αστεροειδές δωδεκάεδρο

Ο Escher έλεγε για το έργο του '*Capturing infinity*', που απεικονίζεται στην Εικ. 9, ότι αποτελείται από κυκλικά τόξα (αυτά που εμφανίζονται γύρω από τον κεντρικό πυρήνα του έργου), τα οποία επαναλαμβάνονται συνεχώς και αδιακόπως. Με αυτόν τον τρόπο εννοεί, ότι κάποιος πλησιάζει προς το άπειρο.²⁵ Το έργο αυτό ολοκληρώθηκε το 1960 και είναι επίσης γνωστό με την ονομασία '*Angels and devils*'. Εύκολα μπορεί να διακρίνει κανείς στον πυρήνα του έργου, αγγέλους και διαβόλους να εναλλάσσονται.

Η σειρά '*Circle limit III*' αποτελείται από 4 ξυλογραφίες, μεταξύ των οποίων και αυτή της Εικ. 10, που ολοκληρώθηκε το 1959. Στα έργα αυτά ο Escher απεικονίζει ιδέες από την υπερβολική γεωμετρία. Στο συγκεκριμένο έργο (Εικ. 10), χορδές με ιχθύες ξεκινούν από απείρως μακριά και στην συνέχεια γυρίζουν προς τα πίσω, οδεύοντας στο «σημείο» από το οποίο ξεκίνησαν.

Το Γλυπτό της Εικ. 12, είναι εμπνευσμένο από το «*μικρό αστεροειδές δωδεκάεδρο*», ένα έργο του Escher με τίτλο '*Gravitation*', που ολοκληρώθηκε το 1952. Το γλυπτό αυτό διακοσμεί τον προαύλιο χώρο του Πανεπιστημίου του Twente της Ολλανδίας.²⁶

(γ) Ο Kazimir Malevich (1879–1935)²⁷ ήταν Ρώσος avant-garde καλλιτέχνης και θεωρητικός τέχνης, του οποίου το πρωτοποριακό έργο και τα γραπτά του κείμενα επηρέασαν σημαντικά την ανάπτυξη της αφηρημένης τέχνης, τον 20ον αιώνα. Τα γεωμετρικά σχήματα κυριαρχούν στο έργο του. Είναι γνωστός ως πρόδρομος της γεωμετρικής αφαίρεσης.

Στο πάνθεον των καλλιτεχνών αφηρημένης τέχνης, υπάρχουν δύο κατηγορίες: οι «*εμπειρικοί καλλιτέχνες*», που φθάνουν στον στόχο τους σταδιακά και οι «*εννοιολογικοί*», που φθάνουν στον στόχο τους εφαρμόζοντας άμεσα τις μεγάλες ιδέες τους. Ο Kandinsky ανήκει στην πρώτη κατηγορία, στην οποία τα αποτελέσματα της εκάστοτε δουλειάς του καλλιτέχνη παρομοιάζονται με τις «*Προτάσεις*» σε μία μαθηματική εργασία. Η δεύτερη κατηγορία, στην οποία ανήκει ο Malevich, είναι μία πλήρως γεωμετρική, αφηρημένη τέχνη. Σ' αυτήν, ο καλλιτέχνης αποδεικνύει ένα «*θεμελιώδες θεώρημα*», που στην ουσία είναι ένα «*μανιφέστο αρχών*» και τα αποτελέσματα της δουλειάς του παρομοιάζονται με πορίσματα του «*θεμελιώδους θεωρήματος*».

²⁵ <http://people.reed.edu/~wieting/essays/CapturingInfinity.pdf>

²⁶ Ο αναγνώστης μπορεί να δει το συγκεκριμένο έργο του Escher, μαζί με σχόλια, στον ιστότοπο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation_\(M._C._Escher\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation_(M._C._Escher))

²⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Kazimir_Malevich



Εικ. 13. Supremus No 58



Εικ. 14. Suprematist Composition (1916)

Τα έργα του Malevich, που απεικονίζονται στις Εικ. 13 και 14 ανήκουν στο καλλιτεχνικό κίνημα που εστιάζεται σε βασικές γεωμετρικές μορφές, σε περιορισμένη ποικιλία χρωμάτων και στην «υπεροχή του καθαρού καλλιτεχνικού συναισθήματος» και όχι στην οπτική απεικόνιση αντικειμένων. Το κίνημα αυτό ιδρύθηκε από τον ίδιο τον καλλιτέχνη, ονομάζεται “*suprematism*” και ανακοινώθηκε στην τελευταία φουτουριστική έκθεση ζωγραφικής του, το 1915, στην Αγία Πετρούπολη.

Μεταξύ των Ελλήνων καλλιτεχνών, που χρησιμοποιούν ή έχουν χρησιμοποιήσει γεωμετρικά εργαλεία στην δουλειά τους είναι και οι εξής: Α. Ακριθάκης, Σ. Βασιλείου, Ν. Εγγονόπουλος, Γ. Μόραλης, Γ. Τσαρούχης, Κ. Τσόκλης, Α. Φασιανός και Ν. Χατζηκυριάκος-Γκίκας. Οι εικόνες 15 και 16, που ακολουθούν, ανήκουν αντίστοιχα στους Γ. Μόραλη και Ν. Χατζηκυριάκο-Γκίκα.



Εικ. 15. Γ. Μόραλης,
Χρωμοτυπία – Περίσκεψη



Εικ. 16. Ν. Χατζηκυριάκος-Γκίκας,
Ανάμεσα στα γεύματα

Τελειώνουμε την ενότητα αυτή με ορισμένες παρατηρήσεις για τον ρόλο της τέχνης στην εξοικείωση των μαθητών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στα μαθηματικά και τις δύσκολες –μερικές φορές– έννοιες που περιέχουν.

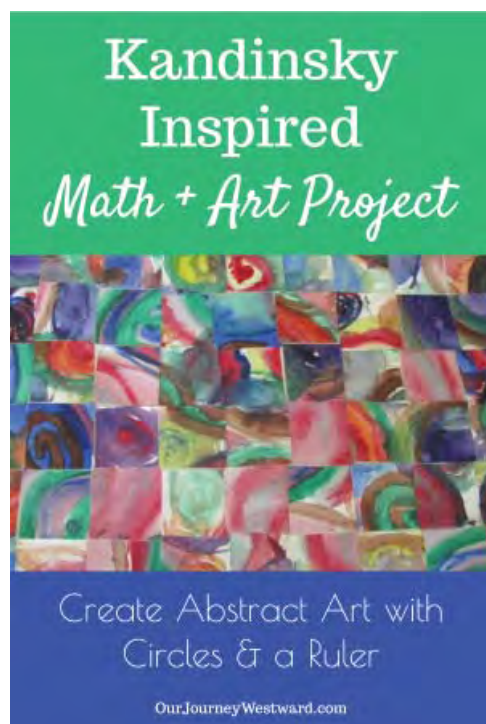
Είναι γνωστό ότι οι περισσότεροι μαθητές και μαθήτριες των δύο πρώτων βαθμίδων της εκπαίδευσης, δεν έχουν ιδιαίτερη συμπάθεια στα μαθηματικά και ακόμα περισσότερο, κάποιοι και κάποιες από αυτούς και αυτές διακατέχονται από έναν φόβο για το μάθημα αυτό.

Κατά την γνώμη μας, ο κυριότερος λόγος για το γνωστό φαινόμενο, είναι αρκετές φορές οι διδάσκοντες και οι διδάσκουσες. Στην εποχή μας, υπάρχουν τόσες πολλές πληροφορίες γύρω από τα μαθηματικά, την ιστορία τους και τις αλληλεπιδράσεις τους με άλλες επιστήμες, που οι διδάσκοντες θα μπορούσαν να κάνουν όλους τους μαθητές και όλες τις μαθήτριά τους να κατανοήσουν σε μεγάλο βαθμό και να αγαπήσουν τα μαθηματικά και την ομορφιά που αυτά κρύβουν. Θα πρέπει όμως να τονίσουμε, ότι υπάρχουν και «εμπνευσμένοι εκπαιδευτικοί», που κάνουν εξαιρετική δουλειά στα σχολεία τους και δραστηριοποιούν τους μαθητές τους σε ενδιαφέροντα προγράμματα, που συνδέουν τα μαθηματικά με τις τέχνες, τις σύγχρονες τεχνολογίες και την ιστορία τους. Αυτό έχει έναν ευεργετικό αντίκτυπο στην εκπαίδευση των παιδιών και γενικότερα στους μετέπειτα στόχους τους.

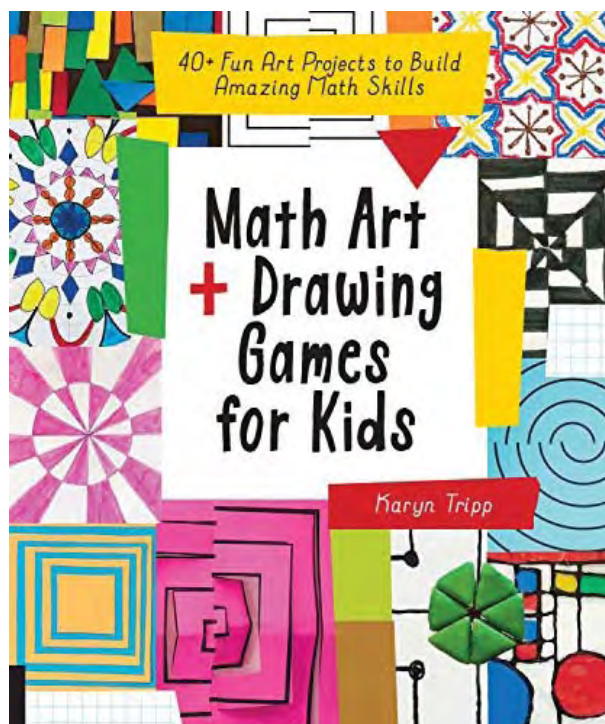
Τα κίνητρα για τους διδάσκοντες, σε τέτοιες περιπτώσεις, βρίσκονται π.χ. στα περιοδικά Ευκλείδης Α' (γυμνάσιο) και Ευκλείδης Β' (λύκειο), που εκδίδει η ΕΜΕ, και περιέχουν ένα πλούσιο υλικό, μαθηματικό και ιστορικό, αλλά και στα βιβλία, που κυκλοφορούν πλέον για τις δύο πρώτες βαθμίδες της εκπαίδευσης, με περιεχόμενο «Τέχνη και Μαθηματικά», και ακόμα διπλωματικές εργασίες, με προτεινόμενα προγράμματα, για μία ελκυστική για τα παιδιά διδασκαλία των μαθηματικών.²⁸

Σκοπός των βιβλίων αυτών είναι, όπως είπαμε, η εξοικείωση των μαθητών με τα μαθηματικά, μέσω της τέχνης. Συγχρόνως όμως, ανοίγουν καινούριους ορίζοντες για τα παιδιά, εμπλουτίζουν τις γνώσεις τους και αναπτύσσουν την φαντασία και την δημιουργικότητά τους.

Ακολουθούν εικόνες αυτού του είδους των βιβλίων σε ελληνικές και ξενόγλωσσες εκδόσεις:



Εκ. 17. Kandinsky Inspired,
Math + Art Project



Εκ. 18. Karyn Tripp,
Math Art + Drawing Games
for Kids

28 Γ. Πλατάρος, «Η διαδικασία του απείρου στην μέση εκπαίδευση», διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://en.calameo.com/read/00487572557035b23451a> Μ. Σταθοπούλου-Καμπύλη, *Τέχνη και Μαθηματικά: Διαθεματικές προσεγγίσεις μέσα από την Ιστορία της Τέχνης*, διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/585/Stathopoulou-Kampyli%20Maria.pdf>



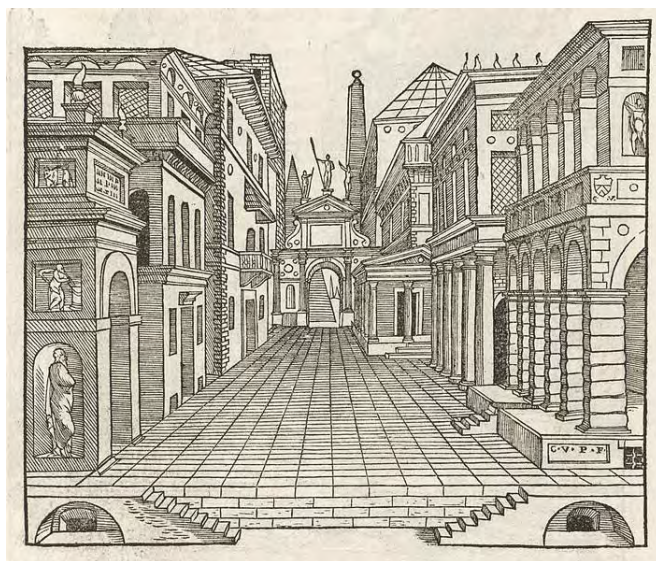
Εικ. 19. Δ. Χασάπης,
Ζωγραφίζω όπως... ο Malevich



Εικ. 20.
Α. Μαυρομμάτης,
Σ. Σταθοπούλου, Α.
Παπανικολάου, Τέχνη
και Μαθηματικά

IV. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ και ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

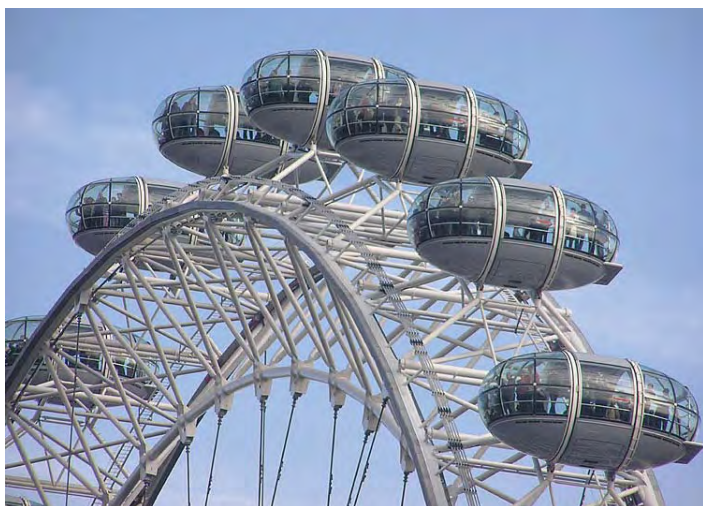
Όλοι γνωρίζουμε ότι τα μαθηματικά (και ιδιαίτερα η Γεωμετρία) έχουν χρησιμοποιηθεί στην Αρχιτεκτονική από την αρχαιότητα (από τους Αιγύπτιους, τους Έλληνες, τους Ινδούς κλπ) για να κατασκευάσουν πυραμίδες, ναούς, τζαμιά, παλάτια, μασωλεία και πολλά άλλα κτήρια. Στον 21ον αιώνα, υπάρχουν πλέον πάρα πολλά κτήρια και κατασκευές, που εμπίπτουν στην μαθηματική αρχιτεκτονική, όπως π.χ. οι κατασκευές του Καλατράβα στην Αθήνα για τους Ολυμπιακούς του 2004. Τέτοιου τύπου κατασκευές και κτήρια υπάρχουν σε πολλές χώρες και πρωτεύουσες κρατών ανά τον κόσμο, όπως αυτές που ακολουθούν



Εικ. 21. Αρχιτεκτονική με προοπτική. Sebastiano Serlio (1473–1554), Italy.



Εικ. 22. Symmetry. Sydney Opera House, 1973.



Εικ. 23. London Eye
or the Millennium Wheel,
London 2000.

Εικ. 24. The Gherkin,
commercial skyscraper,
London 2004.



Στην Εικ. 21 έχει εφαρμοσθεί γραμμική προοπτική, δηλαδή προβολή ενός κτιρίου στο επίπεδο, η οποία δημιουργεί την αίσθηση του βάθους και του τρισδιάστατου χώρου. Στην Εικ. 23, ο επισκέπτης εισέρχεται σε ένα από τα κυκλικά «καλάθια», που υπάρχουν στην περιφέρεια του τροχού και φτάνει στην κορυφή, απ' όπου απολαμβάνει την θέα όλου του Λονδίνου.

Θα επικεντρωθούμε τώρα, στον διάσημο Καταλανό αρχιτέκτονα Antoni Gaudí (1852–1926)²⁹ και στο αριστούργημά του “*La Sagrada Familia*”, την Βασιλική της «Αγίας Οικογένειας», όπου για να δημιουργήσει τα επαναστατικά του σχέδια γι’ αυτό το έργο, χρησιμοποίησε, ιδιαίτερα, γεωμετρία.

Στο γύρισμα του 20ού αιώνα, όπως ξέρουμε υπήρξαν νέες ιδέες στα μαθηματικά και την φυσική, αλλά και ανάπτυξη νέων μορφών τέχνης.³⁰ Ο Gaudí εργάστηκε στην πρώτη γραμμή του Καταλανικού Μοντερνισμού και επίσης παρουσίασε και επηρέασε πολλές μορφές και τεχνικές του μοντερνισμού του 20ού αιώνα.

²⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Antoni_Gaudi

³⁰ M-G. Lorenzi, M. Francaviglia, *Art & Mathematics in Antoni Gaudí's Architecture: “La Sagrada Familia”*, Aplimat – J. Appl. Math. No 1, 3 (2010), 125–146, σελ. 125.



Εικ. 25. Sagrada Familia.



Εικ. 26. Antoni Gaudí.

Η «*Βασιλική της Αγίας Οικογένειας*» αποτελεί ένα μνημειώδες έργο και μαζί με τα άλλα έργα του Gaudí (τα περισσότερα στην Βαρκελώνη) αποτελούν την πολιτιστική κληρονομιά του Gaudí στην πόλη αυτή.

Τα έργα του Gaudí άφησαν ένα εντυπωσιακό αποτύπωμα, που αποκαλύπτει το συνεχές ενδιαφέρον του στον ρόλο που τα Μαθηματικά παίζουν στην τέχνη και ιδιαίτερα στην αρχιτεκτονική.³¹ Η κατασκευή της Βασιλικής έχει πιθανόν ολοκληρωθεί ή κατ' άλλους θα ολοκληρωθεί το 2026, 100 χρόνια μετά το θάνατό του, ο οποίος υπήρξε τραγικός. Στις 7 Ιουνίου του 1926, στην διάρκεια ενός περιπάτου στην Βαρκελώνη, χτυπήθηκε από ένα τραμ και σε τρεις ημέρες κατέληξε. Λόγω του ότι κάποια από τα σχέδια του Gaudí καταστράφηκαν κατά την διάρκεια του Ισπανικού εμφυλίου πολέμου (1938), στις προσθήκες που έγιναν, οι διαφορές με τα σχέδια του Gaudí είναι ορατές. Ο Gaudí στα έργα του επηρεαζόταν επίσης από την φύση. Ένα δείγμα είναι, ότι τα κεντρικά κλίτη της *Sagrada Familia* χωρίζονται με κιονοστοιχία στο σχήμα κορμών δένδρων και οι ενδιάμεσες οροφές διακοσμούνται από σχήματα που μοιάζουν με ηλιοτρόπια σε μία εξαιρετική περιστροφική συμμετρία.

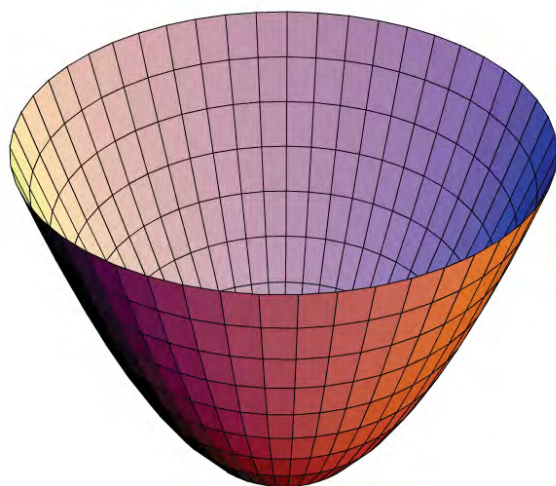
Όπου κι αν κοιτάξεις στα έργα του, θα διακρίνεις γεωμετρικές κατασκευές, όπως ελικοειδείς σκάλες, τμήματα που μοιάζουν με

³¹ Ο.π., σελ. 126.

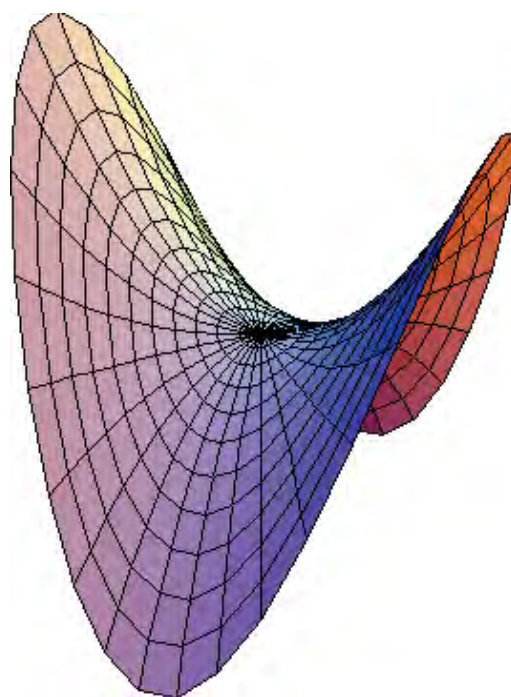
υπερβολικά παραβολοειδή, ή με υπερβολοειδή και παραβολοειδή. Όπως είπαμε προηγουμένως, δανείζεται στην δουλειά του και στοιχεία από την φύση, ώστε να επιτρέψει στο έργο του να περιέχει και περιβαλλοντικά στοιχεία. Μάλιστα έλεγε ότι:³²

“Those who look for the laws of Nature as a support for their new works, collaborate with God ” (Εκείνοι που αναζητούν τους νόμους της Φύσεως, ως μία υποστήριξη στις καινούργιες εργασίες τους, συνεργάζονται με τον Θεό.)

Οι Εικόνες 27 και 28, μας θυμίζουν πως μοιάζει ένα ελλειπτικό παραβολοειδές και ένα υπερβολικό παραβολοειδές.



Εικ. 27. Ελλειπτικό παραβολοειδές



Εικ. 28. Υπερβολικό παραβολοειδές

Η αμοιβαία επίδραση των μαθηματικών με τις άλλες επιστήμες, προφανώς, δεν σταματάει σε όσα αναφέραμε. Εκτός από τις φυσικές επιστήμες, τα μαθηματικά έχουν επίσης ιδιαίτερα ανεπτυγμένους και ενδιαφέροντες δεσμούς με τις οικονομικές και πολιτικές επιστήμες, τις θρησκείες και όχι μόνο.

³² Ο.π., σελ. 140.

Ευχαριστίες

Με την ευκαιρία της συγγραφής αυτής της εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στους συναδέλφους ομοτίμους Καθηγητές ΕΚΠΑ, Μάρω Παπαθανασίου και Παναγιώτη Σίσκο, για τον άρτιο συντονισμό και την διοργάνωση της διαδικτυακής ημερίδας «Οι Θετικές Επιστήμες τον 21ον Αιώνα και οι Εφαρμογές τους στην Κοινωνία» (5ο Πανεπιστήμιο Πολιτών), τον Φεβρουάριο του 2021. Στην ομιλία μου σ' αυτήν την ημερίδα, στηρίζεται η παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στην αγαπητή Μάρω, για την εξαιρετική επιμέλεια των εικόνων και του κειμένου που έχετε ανά χείρας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

H-J. Bandelt and A. Dress, *A Canonical Decomposition Theory for Metrics on a Finite Set*, *Advances in Mathematics* 92 (1992), 47–105.

W. Busczynska and J. Wisniewski, *On phylogenetic trees – A geometer's view*, math. AG/0601357.

S. Chulián, A. Martínez–Rubio, A. Rosa, V.M. Pérez–García, *Mathematical models of leukaemia and its treatment: A review*, arXiv:2011.05881v1 [q-bio.TO] 4 Nov 2020.

J.E. Cohen, *Mathematics is Biology's Next Microscope, Only Better; Biology is Mathematics, Next Physics, Only Better*, *PLOS Comput. Biology* No 6, 2 (2004).

S. Elizalde and K. Woods, *Bounds on the number of inference functions on a graphical model, formal power series and algebraic combinatorics*, (FPSAC 18), San Diego, June 2006.

M. Kac, G-C. Rota and J.T. Schwartz, *Discrete Thoughts*, Birkhaeuser, Boston, 1986.

W. Kandinsky (1923), *Circles in a Circle*, (Oil on canvas), Philadelphia Museum of Art, USA. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.wassilykandinsky.net/work-247.php>

W. Kandinsky, *Concerning the Spiritual in Art*, Published by S.R. Guggenheim Foundation, for the museum of non-objective painting, New York City, 1946, Hilla Rebay, Editor. The original work was published in 1910. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://www.csus.edu/indiv/o/obriene/art206/onspiritualinart00kand.pdf>

W. Kandinsky, *Point and Line to Plane*, Published by S.R. Guggenheim Foundation, for the museum of non-objective painting, New York, 1947; originally published in 1926.

K. Kattchee, *Kandinsky, Math Artist?* Proceedings of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture; σελ. 473–476.

P.S. Kim, P.P. Lee, D. Levy, *A PDE model for imatinib-treated chronic myelogenous leukemia*, Bulletin of Mathematical Biology No 7, 70 (2008), 1994–2016.

A.M. Lesk, *The unreasonable effectiveness of Mathematics in Molecular Biology*, Mathematical Intelligencer, No 2, 22 (2000), 28–37.

S. Levin, editor, *Mathematics and Biology: The interface. Challenges and opportunities*, Univ. of California, 1992. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.bio.vu.nl/nvtb/Contents.html>

M-G. Lorenzi, M. Francaviglia, *Art & Mathematics in Antoni Gaudi's Architecture: "La Sagrada Familia"*, Aplimat – J. Appl. Math. No 1, 3 (2010), 125–146.

A. Marciniak-Czochra, T. Stiehl, A.D. Ho, W. Jaeger, W. Wagner, *Modeling of asymmetric cell division in hematopoietic stem cells-regulation of self-renewal is essential for efficient repopulation*, Stem Cells and Development No 3, 18 (2009), 377–386.

V. van Otterdijk, *Kandinsky meets math.*, διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://veravanotterdijk.nl/portfoliodocs/GR_report1.pdf

L. Pachter and D. Speyer, *Reconstructing Trees from Subtree Weights*, Applied Mathematics Letters, 17 (2004), 615–621.

D. Schattschneider, *The Mathematical Side of M. C. Escher*, Notices of the Amer. Math. Soc. No 6, 57 (2010), 706–718.

T. Stiehl, A. Marciniak-Czochra, *Mathematical modeling of leukemogenesis and cancer stem celldynamics*, Mathematical Modelling of Natural Phenomena No 1, 7 (2012), 166–202.

T. Stiehl, N. Baran, A.D. Ho, A. Marciniak-Czochra, *Cell division patterns in acute myeloid leukemia stem-like cells determine clinical course: A model to predict patient survival*, Cancer Research No 6, 75 (2015), 940–949.

B. Sturmfels, *Can Biology Lead to New Theorems?* Clay Mathematics Institute, Annual Report, 2005. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://groups.claymath.org/library/annual_report/ar2005/05report_featurearticle.pdf

E.P. Wigner, *The unreasonable effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*, Commun. In Pure and Appl. Math., 13 (1960), 1–14.

Th. Wieting, *Capturing Infinity. The Circle Limit Series of M.C. Escher*, Reed Magazine, March 2010, 22–29. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<http://people.reed.edu/~wieting/essays/CapturingInfinity.pdf>

E. Zaslow, *Physmatics*, public lecture given at the Fields Institute, June 2, 2005, as part of the Clay Senior Scholars Program. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://www.fields.utoronto.ca/programs/scientific/04-05/string-theory/CMI/physmatics.1.pdf>

Γ. Πλατάρος, *Η διαδικασία του απείρου στην μέση εκπαίδευση*, διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://en.calameo.com/read/00487572557035b23451a>

Μ. Σταθοπούλου-Καμπύλη, *Τέχνη και Μαθηματικά: Διαθεματικές προσεγγίσεις μέσα από την Ιστορία της Τέχνης*, διαθέσιμο στον ιστότοπο:

<https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/585/Stathopoulou-Kampyli%20Maria.pdf>

Β. Σύψα, *Τα Μαθηματικά στην πανδημία covid-19*, Ομιλία στην ομώνυμη διαδικτυακή ημερίδα, που διοργανώθηκε από την ΕΜΕ στις 24 Ιανουαρίου, 2021, βιντεοσκοπημένη εις <http://www.hms.gr/?q=node/1721>

Ο. Χρυσάφινου, *Μαθηματικά και Βιολογία: Μια Ισχυρή Διασύνδεση*. Διάλεξη στο 34ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΜΕ, με τίτλο: «Πάντα κατ'αριθμόν γίνονται», Λευκάδα, Νοέμβριος 2017. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.hms.gr/?q=node/1283>

www.damtp.cam.ac.uk/user/tf227/tziotzios.pdf

<https://www.sciencedaily.com/>

[search/?keyword=Mathematics+and+medicine](https://www.sciencedaily.com/search/?keyword=Mathematics+and+medicine)

<https://el.wikipedia.org/wiki/Πολύκλειτος>

https://en.wikipedia.org/wiki/Wassily_Kandinsky

https://en.wikipedia.org/wiki/M._C._Escher

<http://people.reed.edu/~wieting/essays/CapturingInfinity.pdf>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation_\(M._C._Escher\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitation_(M._C._Escher))

https://en.wikipedia.org/wiki/Kazimir_Malevich

https://en.wikipedia.org/wiki/Antoni_Gaudi

ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ: Η ΜΗΤΕΡΑ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΕΩΝ

1. Προλογικές Διευκρινήσεις

Ευθύς εξ αρχής θα ήθελα να ομολογήσω, ότι η επιστημονική μου εξειδίκευση στην πληροφορική επιστήμη δεν έχει και τόσο ευκρινή κοινό τόπο με την Τεχνητή Νοημοσύνη. Εν τούτοις αποδέχθηκα την πρόκληση, και τον κίνδυνο της έκθεσης, να μιλήσω στην εκδήλωση του Σώματος Ομότιμων Καθηγητών του Πανεπιστημίου μας στη Θεματική Ενότητα Πανεπιστήμιο Πολιτών υπό την επιγραφή «*Οι θετικές επιστήμες τον 21^ο αιώνα και οι εφαρμογές τους στην κοινωνία,*» και να καταθέσω όχι τόσο τις γνώσεις μου, όσο τον προβληματισμό μου για ένα επιστημονικό πεδίο που όχι μόνο θα επηρεάσει την καθημερινότητά μας, αλλά κυρίως θα καθορίσει το μέλλον της κοινωνικής μας συνύπαρξης με πλήθος ριζικών αλλαγών που –εν πολλοίς– θα διεισδύσουν στον πυρήνα της ανθρώπινης ύπαρξης με πληθώρα ηθικών διλημμάτων. Επομένως, η βασική στόχευση της σύντομης ομιλίας δεν είναι η σε βάθος επιστημονική ανάλυση και τεκμηρίωση, αλλά μια κατά το μάλλον ή ήττον οριζόντια προσέγγιση πλατύτερα κατανοητή, με στοιχεία προβληματισμού και αμφιβολίας.

Η δεύτερη προλογική μου επισήμανση αφορά στον τίτλο της ομιλίας. Επέλεξα έναν τίτλο ελαφρώς τροποποιημένο, όχι να για προσδώσω κάποια τραγική διάσταση, αλλά για να τονίσω, τηρουμένων των ιστορικών αναλογιών, την επερχόμενη ανατροπή με χιλιάδες αλλαγές –όχι κατ' ανάγκη σε ανθρώπινα θύματα– μιας παγκόσμιας επανάστασης. Υπενθυμίζω ότι η διατύπωση «Μητέρα όλων των Μαχών» αναφέρεται στην περίφημη εξοντωτική μάχη διάρκειας πολλών μηνών μεταξύ των στρατευμάτων Γερμανίας και Γαλλίας, με τους εκατέρωθεν νεκρούς να προσμετρώνται σε εκατοντάδες χιλιάδες. Κατά σύμπτωση η «Μητέρα όλων των Μαχών» είχε ως ημερομηνία έναρξης την 21^η Φεβρουαρίου του 1916, ακριβώς πριν 105 χρόνια από τη σημερινή ημερομηνία αυτής της ομιλίας.¹ Στο

¹ Η μάχη του Βερντέν είναι μια μάχη που πραγματοποιήθηκε από της 21 Φεβρουαρίου – 19 Δεκεμβρίου 1916 στο Βερντέν στη Λορραίνη, κατά τη διάρκεια του Α' Παγκοσμίου Πολέμου. Περισσότερα από 700.000 θύματα (νεκροί αγνοούμενοι ή τραυματίες), περίπου

αγωνιώδες ερώτημα, αν θα έχουμε τόσα πολλά θύματα, η απάντηση είναι προφανώς όχι, υπό την έννοια απώλειας ανθρωπίνων ζωών, αλλά όπως όλες οι επαναστάσεις θα προκαλέσουν ισχυρές και εν πολλοίς όχι πάντα ευχάριστες ριζικές αλλαγές με θύματα και ωφελούμενους.

2. Βασικές Έννοιες

Με τη βοήθεια από το Λεξικό του κ. Γιώργου Μπαμπινιώτη θα επιχειρήσω να επεξηγήσω μερικές βασικές έννοιες σχετικές με το θέμα της ομιλίας. Η πρώτη βασική έννοια που μας ενδιαφέρει είναι η «νόηση» (διαφάνεια 1), που σύμφωνα με το λεξικό είναι *«η ικανότητα να συλλαμβάνει κανείς την πραγματικότητα με τη βοήθεια της λογικής (και όχι τη βοήθεια των αισθήσεων και του ενστίκτου) αξιοποιώντας τα δεδομένα της πείρας του και του περιβάλλοντός του να παράγει κρίσεις, συλλογισμούς, συμπεράσματα»*, εξ ου και τα νοήμονα όντα, που μάλλον δεν περιορίζονται αποκλειστικά στα ανθρώπινα νοήμονα όντα, αλλά επεκτείνονται και σε κάποια άλλα έμβια όντα που συναντάμε στη φύση.

ΝΟΗΣΗ

ΝΟΗΣΗ :

Η ικανότητα να συλλαμβάνει κανείς την πραγματικότητα με τη βοήθεια της λογικής
(και όχι με τη βοήθεια των αισθήσεων και του ενστίκτου),
αξιοποιώντας τα δεδομένα της πείρας του και του
περιβάλλοντός του

Να παράγει κρίσεις συλλογισμούς, συμπεράσματα.

ΝΟΗΜΟΝΑ ΟΝΤΑ

Διαφάνεια 1

Η επόμενη συναφής με την ανωτέρω έννοια είναι αυτή της «νοημοσύνης» (διαφάνεια 2) που σύμφωνα με το λεξικό είναι *«η ικανότητα να αντιλαμβάνεται και να επεξεργάζεται κανείς με τη δύναμη του εγκεφάλου – και όχι των ενστίκτων ή των κινήτρων – τα δεδομένα γύρω του, πράγμα που χαρακτηρίζει τους ανθρώπους και αποδίδεται σε ορισμένα θηλαστικά όπως τα δελφίνια. Συνώνυμα: πνευματική ικανότητα, ευφυία»*.

380.000 Γάλλοι στρατιώτες και περίπου 340.000 Γερμανοί, κατά μέσον όρο 70.000 άτομα για κάθε ένα μήνα από τους συνολικά δέκα. Ήταν η μεγαλύτερη μάχη του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου και μια από τις πιο καταστροφικές κατά την διάρκεια του, η οποία έδωσε αφορμή για το μύθο του Βερντέν ως η «μητέρα των μαχών», και μία από τις πιο απάνθρωπες λόγω των μεγάλων απωλειών που σημειώθηκαν λόγω χρήσης του πυροβολικού.

Στο σημείο αυτό ας μου επιτραπεί μία προσωπική κρίση. Η νοημοσύνη, και θα έλεγα ασφαλώς η ανθρώπινη, δεν είναι στατικό μέγεθος, αλλά εξελισσόμενο με την πάροδο του χρόνου, συσσωρεύοντας γνώσεις, εμπειρίες, και προσλαμβάνουσες παραστάσεις από το περιβάλλον, και οι οποίες νοητικές μεταβολές συμβαίνουν στο εγκεφαλικό μας σύστημα. Επιπροσθέτως, η νοημοσύνη δεν είναι κάποιο ισοδύναμο μέγεθος για κάθε ανθρώπινο όν, αλλά έχει τις δικές του πολύπλευρες διαστάσεις που διαφοροποιούνται αισθητά ανάμεσα στα μέλη μιας κοινωνίας. Συμπερασματικά, λοιπόν, η νοημοσύνη είναι μια εξελισσόμενη κατάσταση και επίκτητη ιδιότητα και ως εκ τούτου προκύπτει το δίλημμα, αν είναι εφικτό να ενσωματωθεί και να συνυπάρξει με ανθρώπινες μεν κατασκευές που δεν έχουν ως αφετηρία επαρκή νοημοσύνη, αλλά συν τη πάροδο του χρόνου αυτοβελτιώνουν την συμπεριφορά τους αποκτώντας «γονική αυτονομία» έχοντας πλέον αυξημένη ικανότητα αυτόνομης, αλλά λογικής συμπεριφοράς και δράσης.

ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ :

Η ικανότητα να αντιλαμβάνεται και να επεξεργάζεται κανείς με τη δύναμη του εγκεφάλου – και όχι των ενστίκτων ή των κινήτρων – τα δεδομένα γύρω του, πράγμα που χαρακτηρίζει τους ανθρώπους και αποδίδεται σε ορισμένα θηλαστικά όπως τα δελφίνια.

Συνώνυμα: πνευματική ικανότητα, ευφυΐα .

Διαφάνεια 2

Από την προγενέστερη περιγραφή της έννοιας της νοημοσύνης με τις προσωπικές μου επισημάνσεις μεταπηδούμε στην απολύτως σχετική με τον τίτλο της ομιλίας έννοια της τεχνητής νοημοσύνης. Σύμφωνα πάντα με το λεξικό, η «τεχνητή νοημοσύνη» (διαφάνεια 3) είναι «κλάδος της πληροφορικής επιστήμης που στοχεύει στην κατασκευή μηχανών (ρομπότ ή υπολογιστών), οι οποίες μπορούν να μιμηθούν την συμπεριφορά του ανθρώπου, τον τρόπο σκέψης, τη διαδικασία αντίληψης και απόκτησης γνώσης, και γενικά την ανθρώπινη ευφυΐα». Παρακάμπω πλήρως ό,τι σχετίζεται με την συναισθηματική νοημοσύνη, η οποία θα μας υποχρέωνε να οδηγηθούμε σε μονοπάτια ψυχολογίας και ανάλυσης συναισθημάτων. Όπως γίνεται αντιληπτό, ο ορισμός αυτός αφήνει ανοικτό το έδαφος και στον επιστημονικό προβληματισμό για μελλοντικές κατασκευές-μηχανές με κάποιες ικανότητες-ομοιότητες ανθρώπινης αυτενέργειας. Από τον

παραπάνω εννοιολογικό προσδιορισμό θα ήθελα να «αφαιρέσω» τη διατύπωση «robot» δεδομένου ότι οι μηχανές αυτές εκτελούν εντελώς μηχανικά και επαναλαμβάνουν ενέργειες χωρίς καμία δυνατότητα απόκλισης, και επομένως απομακρύνονται από τον κάπως ευρύτερο ορισμό της τεχνητής νοημοσύνης. Υπενθυμίζω, ότι ο αυστηρός αρχικός ορισμός μιας υπολογιστικής μηχανής αφορούσε στην ικανότητα να εκτελεί χιλιάδες και αργότερα εκατομμύρια πράξεις με απόλυτη ακρίβεια, ταχύτητα και χωρίς κάποια κόπωση με εμφανή σημάδια «ιδρώτα». Οι υπολογιστές αυτοί, ανεξαρτήτως γενεάς λόγω τεχνολογικών εξελίξεων, ήταν οι πρόγονοι των βαριών και εντυπωσιακών ρομποτικών κατασκευών χωρίς ίχνος πρωτοβουλιακής δράσης, και επομένως χωρίς το δικαίωμα να κατατάσσονται σε μηχανές με χαρακτηριστικά τεχνητής νοημοσύνης. Συνοψίζοντας θα υιοθετούσα την παρακάτω περιγραφή που έχει ως εξής:

Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) είναι η επιστήμη που επιδιώκει να εξοπλίσει (λογισμικό) τα μηχανήματα (υπολογιστές) να κάνουν πράγματα (ενέργειες/ αποφάσεις) που απαιτούν νοημοσύνη, αν γινόντουσαν από άνθρωπο.

ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ :

Κλάδος της πληροφορικής επιστήμης που στοχεύει στην κατασκευή μηχανών (ρομπότ ή υπολογιστών), οι οποίες μπορούν να μιμηθούν την συμπεριφορά του ανθρώπου, τον τρόπο σκέψης, τη διαδικασία αντίληψης και απόκτησης γνώσης και γενικά την ανθρώπινη ευφυΐα.

Διαφάνεια 3

Το εύρος της επιστημονικής εμβέλειας και των πρακτικών εφαρμογών της TN συμπεριλαμβάνει την Μηχανική Μάθηση, την Υπολογιστική Όραση, την Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας, την αναγνώριση ήχου/ εικόνας (video), με πληθώρα προεκτάσεων στην Ιατρική, την Διαστημική Μηχανική, όπου απαιτούνται κρίσιμες άμεσες επί τόπου αποφάσεις λόγω της μεγάλης απόστασης και συνάμα του χρόνου που απαιτείται για την μετάδοση και επιστροφή σημάτων.

3. Αφετηρίες και Εφαληρια

Όπως σε κάθε ερευνητική προσπάθεια υπάρχουν και εδώ αφετηρίες και εφαλήρια, έως ότου επιτευχθεί ένα αξιόλογο και εν πολλοίς αποδεκτό αποτέλεσμα. Η πρόκληση την δεκαετία του 1990 αφορούσε στην ανάπτυξη

λογισμικού που θα μπορούσε να συναγωνιστεί και να αναγκάσει σε ήττα παγκόσμιους πρωταθλητές στο σκάκι. Η επόμενη διαφάνεια 4 εμφανίζει τον παγκόσμιο πρωταθλητή αντιμέτωπο και προβληματισμένο απέναντι στη μηχανή Deep Blue που είχε προς τούτο κατασκευαστεί από την εταιρεία IBM.² Η υπεροχή της μηχανής με το πρόγραμμα DeepMind τεχνητής νοημοσύνης ήταν συντριπτική έναντι όλων των παγκόσμιων πρωταθλητών του πολύ περισσότερο σύνθετου κινέζικου παιχνιδιού GO, σε σχέση με το απλούστερο σκάκι, το οποίο απαιτεί στρατηγικές αποφάσεις για την αντιμετώπιση των κινήσεων του αντιπάλου.³



Διαφάνεια 4

2 Σύμφωνα με την εγκυκλοπαίδεια Wikipedia: Στις 10 Φεβρουαρίου 1996, ο Deep Blue έγινε η πρώτη σκακιστική μηχανή που κατάφερε να νικήσει τον παγκόσμιο πρωταθλητή σκακιού Κασπάροφ υπό κανονικές συνθήκες χρονικού ορίου. Ωστόσο ο Κασπάροφ νίκησε σε τρία από τα πέντε επόμενα παιχνίδια, ενώ τα άλλα δύο παιχνίδια ήρθαν ισόπαλα. Έτσι ο Κασπάροφ νίκησε τον Deep Blue με σκορ 4–2 (1 πόντος για κάθε νίκη και 1/2 πόντος για κάθε ισοπαλία). Στις 11 Μαΐου 1997, ο Deep Blue νίκησε στον έκτο και γύρο μπαράζ τον Κασπάροφ, καθώς στους πέντε αγώνες ήταν ισόπαλοι με $2\frac{1}{2}$ – $2\frac{1}{2}$. Έτσι το τελικό σκορ ήταν $3\frac{1}{2}$ – $2\frac{1}{2}$, με αποτέλεσμα ο Deep Blue να γίνει η πρώτη σκακιστική μηχανή που νίκησε τον παγκόσμιο πρωταθλητή σκακιού σε ένα τουρνουά υπό κανονικές συνθήκες διεξαγωγής αγώνων και κανονικά χρονικά όρια για κάθε παίχτη. Μετά την ήττα του, ο Κασπάροφ είπε ότι διέκρινε βαθιά νοημοσύνη και δημιουργικότητα στις κινήσεις της μηχανής, και μάλιστα ισχυρίστηκε ότι στον δεύτερο αγώνα, πίσω από τις κινήσεις του υπολογιστή κρύβονταν άνθρωποι σκακιστές, κάτι που ήταν ενάντια στους κανόνες του αγώνα. Η IBM ωστόσο αρνήθηκε ότι ο Deep Blue έκλεβε, λέγοντας ότι η μόνη ανθρώπινη παρέμβαση στη μηχανή γινόταν στο μεσοδιάστημα των αγώνων. Οι κανονισμοί επέτρεπαν στους προγραμματιστές να κάνουν τροποποιήσεις στον υπολογιστή στα μεσοδιαστήματα, έτσι ώστε να βελτιώνονται τα αδύνατα σημεία που ενδεχομένως θα εμφάνιζε κατά τη διάρκεια των αγώνων. Ο Κασπάροφ απαίτησε αντίτυπα των αρχείων καταγραφής του Deep Blue, όμως η IBM τότε αρνήθηκε, αν και αργότερα δημοσίευσε στο ίντερνετ αυτά τα αρχεία. Επίσης, ο Κασπάροφ ζήτησε να γίνει και τρίτη σειρά αγώνων, αλλά η IBM αρνήθηκε και πάλι, αποσυναρμολογώντας τον Deep Blue.

3 Περισσότερες πληροφορίες στον σύνδεσμο https://deepmind.com/research/case-studies/alphago-the-story-so-far#the_matches

4. Υποστηρικτικές Τεχνολογίες

Όπως όλοι γνωρίζουμε, η τεχνολογία 5G είναι προ των πυλών. Δεν έχει τα χαρακτηριστικά ούτε θεωρείται μια ακόμα επανάσταση, είναι όμως μια καθοριστική τεχνολογική εξέλιξη με πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην καθημερινότητα, την ψυχαγωγία, την ιατρική επιστήμη, και την εκπαίδευση όλων των βαθμίδων. Σε συνδυασμό με άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Αντικειμένων ή Πραγμάτων (Internet of Things-IoT) και η επιστημονική περιοχή των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data), διαμορφώνουν το γόνιμο έδαφος υποστήριξης για την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης (διαφάνεια 5). Η 5^η γενεάς δικτύωση θα προσφέρει ταχύτητες επικοινωνίας πολλαπλάσιες της σημερινής, διασυνδεσιμότητα συσκευών πολύ μεγάλου πλήθους, μηδενικούς χρόνους απόκρισης – επομένως αναδράσεις πραγματικού χρόνου (real time) – και σε συνδυασμό με την υψηλή ταχύτητα επεξεργασίας υπερυπολογιστών θα διευρύνει το φάσμα χρηστικών υπηρεσιών, όπως οχήματα χωρίς οδηγό, χειρουργικές επεμβάσεις ή ιατρικές διαγνώσεις μακρόθεν, αθλητικές δραστηριότητες την ώρα που διεξάγονται σαν να είμαστε παρόντες και ουκ έστιν αριθμός, και άμεση διαχείριση σοβαρών κρίσεων λόγω κλιματικής αλλαγής (διαφάνεια 6). Η διασυνδεσιμότητα χιλιάδων αισθητήρων και συσκευών, το επονομαζόμενο και διαδίκτυο των αντικειμένων χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση στην μεταξύ τους επικοινωνία, θα διευκολύνει την επίλυση καταστάσεων με αλγορίθμους υπολογιστικής όρασης (διαφάνεια 7).

ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

- 5G – ΔΙΚΤΥΑ 5ης ΓΕΝΕΑΣ
- IoT – INTERNET OF THINGS (ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ)
- BG – BIG DATA (DATA SCIENCE – ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ)

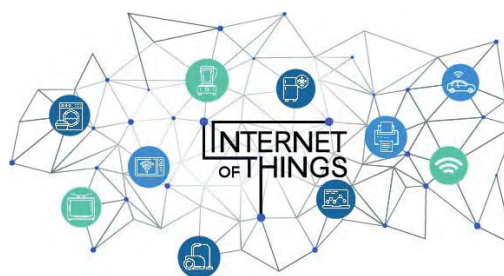
ΤΙ ΣΗΜΑΙΝΕΙ 5G-ΤΟΜΕΙΣ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

- ΤΑΧΥΤΗΤΑ 10 ΠΛΑΣΙΑ ΤΗΣ 4G
- ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ
- LATENCY – ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΗΔΕΝΙΚΗ (REAL-REAL TIME)
- ΥΓΕΙΑ – ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ-ΔΙΑΓΝΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΟΘΕΝ
- ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ
- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΡΙΣΕΩΝ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Διαφάνεια 6

INTERNET OF THINGS

- NO H-H INTERACTION
- NO H-C INTERACTION
- ΟΧΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΟΔΗΓΟΥΣ
- VOICE RECOGNITION (SIRI-GOOGLE)



Διαφάνεια 7

5. Προγράμματα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Τα πανεπιστημιακά προγράμματα προπτυχιακών σπουδών των Τμημάτων Πληροφορικής των ΑΕΙ, όπως το Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου μας, περιλαμβάνουν προαιρετικά μαθήματα Τεχνητής Νοημοσύνης I και II σε διαφορετικά προχωρημένα εξάμηνα καθώς και συναφή μαθήματα, όπως η Μηχανική Μάθηση. Από την σύντομη περιήγηση στον ευρωπαϊκό ακαδημαϊκό χώρο, για να αναζητήσω πληροφορίες σπουδών, διαπίστωσα ότι το European University Cyprus προσφέρει (διαφάνεια 8) σε επίπεδο MSc ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα στην τεχνητή νοημοσύνη με την παρακάτω σύντομη περιγραφή: “*The MSc in Artificial Intelligence at EUC aims to train and educate skilled leaders in the field and to address the emerging needs of the market. With an in-depth study of AI theory and practice, students are equipped with technical*

skills and an understanding of machine learning, big data analytics, AI in gaming and robotics, natural language processing and deep learning. Students undertake research with the Department's laboratories and research centers and are equipped for employment in a range of industries or for doctoral studies in the field."

ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ –
ΟΛΕΣ ΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

- ΟΧΙ ΠΛΕΟΝ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΑ – ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ
- AI vs ROBOTS
- ΕΥΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ
- ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΕΣ ΣΠΟΥΔΕΣ AI – EUROPEAN UNIVERSITY CYPRUS

Διαφάνεια 8

6. Τεχνητή Νοημοσύνη και Ιατρική Επικαιρότητα

Για να ολοκληρώσω την κάπως οριζόντια παρουσίαση ορισμένων επιστημονικών ζητημάτων στην σφαίρα της τεχνητής νοημοσύνης, και πριν επιχειρήσω να επαναφέρω κάποια ηθικά διλήμματα, θα ήθελα να αναφερθώ σε ένα κρίσιμο και πολύ επίκαιρο παγκόσμιο θέμα υγείας και προστασίας από βιοεπιθέσεις που είναι πιθανό να επανέρχονται σταδιακά στο μέλλον με μεγαλύτερη συχνότητα. Είναι σε εξέλιξη μια μεγάλης κλίμακας ερευνητική και επιχειρησιακή προσπάθεια στη Μεγάλη Βρετανία να συγκεντρωθεί και να ενσωματωθεί ιατρική γνώση πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων, ώστε με προηγμένες μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης να δίδονται αξιόπιστες συμβουλευτικές απαντήσεις σε σχετικά ερωτήματα ασθενών. Στις διαφάνειες 9–10 αποτυπώνονται οι βασικές στοχεύσεις του πρωτοποριακού αυτού project υπό την επωνυμία Babylon Health.

BABYLON HEALTH

Revolutionising healthcare by empowering doctors with artificial intelligence

- We want to put an accessible and affordable health service into the hands of every person on Earth,
- and to do that, we're combining human expertise with the power of technology.
- We made a brain for Babylon using Artificial Intelligence (AI).
- It's what makes us so different from other healthcare providers.

Διαφάνεια 9

BABYLON HEALTH

Learn more about our AI

- Our AI, developed by our team of research scientists, engineers and healthcare professionals is a suite of AI tools designed around a doctor's brain to provide accessible healthcare for millions.

Διαφάνεια 10

7. Ηθικά Διλήμματα

Η τεχνητή νοημοσύνη, όπως και πολλές άλλες επιστημονικές περιοχές ή τεχνολογικές εξελίξεις, θα προκαλέσουν νέα προβλήματα στην προστασία των προσωπικών δεδομένων. Οι ισχύοντες κανονισμοί προστασίας μπορεί να αποδειχθούν ανεπαρκείς και θα χρειασθούν βελτιωτικές προσαρμογές. Σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή και την βιοτρομοκρατία θα δοκιμάσουν τις αντοχές της ατομικής ανεξαρτησίας από ανεξέλεγκτες παραβιάσεις και της συλλογικής κοινωνικής μας ύπαρξης (διαφάνεια 11). Ο αποβιώσας Άγγλος καθηγητής και περίφημος επιστήμονας διατύπωσε μια «τρομακτική θεωρία» για την τεχνητή νοημοσύνη και την απειλή για την ανθρωπότητα (διαφάνεια 12). Σε ελεύθερη μετάφραση: «*Η ανάπτυξη της πλήρους τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να συνεπάγεται το τέλος της ανθρωπότητας.*» Το πιστεύω; Δεν ξέρω τι να απαντήσω. Προφανώς δεν το εύχομαι.

ΥΠΑΡΞΙΑΚΑ – ΗΘΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

- ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
 - GENERAL DATA PROTECTION REGULATION (GDPR)
- ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ – ΒΙΟΤΡΟΜΟΚΡΑΤΙΑ – ΤΕΛΟΣ ΑΝΘΡΩΠΟΤΗΤΑΣ



Διαφάνεια 11

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ STEPHEN HAWKING

Prof. Stephen Hawking, one of Britain's pre-eminent scientists, has said that:

“Efforts to create thinking machines pose a threat to our very existence.”

- He told the BBC: *“The development of full artificial intelligence could spell the end of the human race.”*

Διαφάνεια 12

8. Επιλεγμένες Αναφορές

Καταλήγοντας, χωρίς κάποια σαφή προσωπικά συμπεράσματα, θεώρησα επωφέλές να σας προβάλω και να προτείνω (διαφάνεια 13) ένα βιβλίο των Πανεπιστημιακών Εκδόσεων Κρήτης για ανάγνωση και ένα κείμενο—άρθρο του συναδέλφου Σέργιου Θεοδωρίδη για προβληματισμό. Πριν λοιπόν ολοκληρώσω την παρουσία μου και τον προβληματισμό που σε κάποιο βαθμό έχω καταθέσει, θα ήθελα να μνημονεύσω δυο κατά την κρίση μου σημαντικές βιβλιογραφικές αναφορές. Η πρώτη αφορά στην έκδοση ενός βιβλίου από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης με τον τίτλο «Τι δεν μπορούν ακόμη να κάνουν οι υπολογιστές» με συγγραφέα τον Hubert Dreyfus, και την δική μου επισήμανση στην αναγραφή στον τίτλο του βιβλίου της ουσιαστικής λέξης «ακόμη,» θέλοντας να αφήσει ανοιχτό το πεδίο των μελλοντικών και εν πολλοίς απρόβλεπτων εξελίξεων.

- ΤΙ ΔΕΝ ΜΠΟΡΟΥΝ (ΑΚΟΜΑ) ΝΑ ΚΑΝΟΥΝ ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
- ΑΡΘΡΟ ΟΜΟΤΙΜΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΣΕΡΓΙΟΥ ΘΕΟΔΩΡΙΔΗ

https://www.athensvoice.gr/culture/arts/622251_tehniti-noimosyni-telos-tis-tehnis



Διαφάνεια 13

Η δεύτερη αναφορά αφορά σε πρόσφατη αρθρογραφία του Ομότιμου Καθηγητή Σέργιου Θεοδωρίδη στην εφημερίδα Athens Voice με τον διλημματικό τίτλο «Τεχνητή Νοημοσύνη –το Τέλος της Τέχνης» με μάλλον κάποια αντεπιχειρήματα από ειδικότερους εμού, αν πρόκειται και για την απαρχή μια άλλης τεχνο–εποχής. Από το άρθρο αυτό θα παραθέσω κάποιες επιλεγμένες ενότητες για να συμπληρώσω τον υπαρκτό επιστημονικό προβληματισμό των ορίων της τεχνητής νοημοσύνης, όταν αυτή πλησιάζει «απειλητικά» καλλιτεχνικές περιοχές ή βαθύτερες συναισθηματικές πλευρές, μοναδικές της ανθρώπινης ύπαρξης. Το άρθρο αναφέρεται στη δημοπρασία ενός πορτρέτου από πρόγραμμα ΤΝ που πουλήθηκε σε τιμή 45 φορές υψηλότερη από την αρχική εκτίμηση.

Ο συνάδελφος στο κείμενό του σημειώνει: «Ισχυρίζομαι ότι ο όρος τεχνητή νοημοσύνη είναι μάλλον παραπλανητικός. Η νοημοσύνη που ενσωματώνουν οι υπολογιστές του σήμερα μόνο με την νοημοσύνη του ανθρώπινου είδους πριν από μερικά εκατομμύρια χρόνια μπορεί να συγκριθεί, τότε που εξελικτικά το είδος μας ήταν, ακόμη, πιο κοντά στα άλλα ζώα. Οι «μηχανές» τεχνητής νοημοσύνης του σήμερα δεν μπορούν να κάνουν τίποτε παραπάνω από το να «προβλέπουν» με βάση την πρότερη εμπειρία που έχουν, δηλαδή τα δεδομένα που έχει συλλέξει ο προγραμματιστής–Άνθρωπος.» Με όλη την αλήθεια που περιλαμβάνει η διατύπωση, υπάρχει ένα μικρό παράθυρο που ανοίγεται με την προνοητική λέξη «σήμερα,» δεδομένου ότι δεν είμαστε σε θέση να προβλέψουμε τι μέλλει γενέσθαι.

Σε επόμενο σημείο του κειμένου καταγράφει κάποιες επαναληπτικές διεργασίες που εφαρμόστηκαν επιτυχώς για να υπάρξει ένα άξιο λόγου καλλιτεχνικό αποτέλεσμα μέσω της τεχνητής νοημοσύνης. Συγκεκριμένα παρατηρεί: «Για το πορτρέτο του Έντμοντ Μπέλαμι, χρησιμοποιήθηκαν

15.000 πορτρέτα ζωγραφισμένα μεταξύ του 14ου και του 20ού αιώνα. Τόσοι πίνακες ζωγραφικής χρειάστηκαν για να «μάθει» ο αλγόριθμος τη στατιστική, για παράδειγμα, τις χρωματικές συσχετίσεις, τις αποχρώσεις και τις σκιές αλλά και τη σχέση τους με τη φόρμα που, στατιστικά, χρησιμοποιούνται από τους καλλιτέχνες. Κανείς εικαστικός δεν μαθαίνει να δημιουργεί με αυτό τον τρόπο. Ο Άνθρωπος χειρίζεται έννοιες και νοήματα και οι «μηχανές» στατιστική χωρίς κατανόηση.» Η πειστικότητα της περιγραφής είναι ισχυρή και δύσκολα αμφισβητήσιμη στον παρόντα χρόνο.

Και ο συγγραφέας καταλήγει με μια αντιστροφή στην ακόλουθη παράγραφο: “Με όλα τα παραπάνω, ίσως κάποιοι να με παρεξηγήσουν ότι προσπαθώ να υποβαθμίσω τα επιτεύγματα της Τεχνολογίας. Κάθε άλλο. Τα επιτεύγματα είναι τεράστια και αξιοθαύμαστα. Όχι μόνο από άποψη εφαρμογών αλλά και από την άποψη της επιστημονικής δημιουργίας. Αυτό που θέλησα να τονίσω είναι ότι ο κίνδυνος για τον Άνθρωπο και την Τέχνη του δεν είναι ότι η νοημοσύνη των «μηχανών» θα ξεπεράσει τη δική μας. Ο κίνδυνος είναι να υποβιβάσουμε τη δική μας νοημοσύνη στο αλγοριθμικό/στατιστικό επίπεδο της τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, και από «υπάρξεις» δημιουργίας να μεταλλαχθούμε σε προγραμματιζόμενα «όντα».”

Με τον πρόσθετο κίνδυνο τα επιλεγμένα αποσπάσματα του άρθρου να μεταφέρουν μια αποσπασματική εικόνα, θεωρώ χρήσιμο να προτείνω στον κάθε ενδιαφερόμενο συνάδελφο να ανατρέξει στην πηγή (διαφάνεια 13) που έχει φιλοξενήσει το άρθρο για να σχηματίσει ιδίαν αντίληψη για όσα αναλυτικά καταγράφονται.

Η επόμενη ενότητα στο αρχικό κείμενο με τον τίτλο «Βιβλιογραφικός Εμπλουτισμός» προσετέθη εκ των υστέρων, μετά την παρουσίαση στην εκδήλωση, και παραμένει εντός της «διδασκόμενης ύλης» και ασφαλώς εντός του στενού πυρήνα του ευρύτερου γνωστικού πεδίου της τεχνητής νοημοσύνης.

9. Βιβλιογραφικός Εμπλουτισμός

Από την ημερομηνία της εκδήλωσης έως την ώρα συγγραφής του κειμένου μεσολάβησαν αρκετές εβδομάδες. Όπως συνήθως συμβαίνει στην επιστημονική κοινότητα προκύπτουν νέα δεδομένα και ερευνητικές δημοσιεύσεις που εμπλουτίζουν τον στοχασμό μας και συνήθως ανοίγουν νέους ορίζοντες. Κατά ευτυχή συγκυρία εντελώς πρόσφατα έπεσε στην αντίληψή μου ένα πολύ επίκαιρο βιβλίο με τον τίτλο «Τεχνητή Νοημοσύνη: Μια Διακριτική Απομυθοποίηση» με συγγραφέα τον Γιώργο Γιαννακόπουλο, που είναι συνεργαζόμενος ερευνητής στο ΕΚΕΘΕ «Δημόκριτος,» με διδακτορικές σπουδές στην τεχνητή νοημοσύνη. Παραθέτω δύο σύντομα αποσπάσματα από το βιβλίο του που αποτυπώνουν, κατά τη γνώμη μου,

τον διάχυτο προβληματισμό για την αξιολόγηση–αποδοχή της τεχνητής νοημοσύνης και τους ορατούς και αοράτους μελλοντικούς κινδύνους πιθανής καταστροφής–επιβίωσης της ανθρωπότητας.

Σημειώνει ο συγγραφέας: *«Από τους ορισμούς της νοημοσύνης που είδαμε παραπάνω, φαίνεται ότι ο καλύτερος κριτής που έχουμε (άμεσα και κατανοητά διαθέσιμος) για να αποφανθεί αν κάτι είναι νοήμον, είναι ίδιος ο άνθρωπος. Αν ένας άνθρωπος, με άλλα λόγια κρίνει ότι απέναντί του έχει κάτι ανθρώπινο (μια συμπεριφορά, μια δράση, μια επικοινωνία) μάλλον οφείλουμε να τον πιστέψουμε.»* Και με φιλοσοφική διάθεση και αμφιβολία καταλήγει στο ερώτημα: *«Όμως ως άνθρωποι, πως κρίνουμε τι είναι ανθρώπινο;»*

Σε άλλο κεφάλαιο του εξαιρετικά καλογραμμένου βιβλίου ο συγγραφέας επιχειρεί να «διασκεδάσει» τους φόβους για τους κινδύνους ολικής καταστροφής και καταθέτει την εκτίμησή του ως κάτωθι: *«Για όσους αγωνιούν και τρέμουν στη σκέψη της αξιοποίησης της ΤΝ μπορώ να δηλώσω το εξής άμεσα. Η ΤΝ δεν θα μας καταστρέψει αν δεν επιδιώξουμε συλλογικά, συστηματικά και χωρίς καμία αντίληψη κινδύνου να την στρέψουμε εναντίον μας.»* Και συνεχίζει καταλήγοντας με μάλλον συγκρατημένη αισιοδοξία: *«Βρίσκω πάντα ενδιαφέρον το γεγονός ότι σε μια ανθρωπότητα που έχει εσκεμμένα παραγάγει το πολυβόλο, τις εμπρηστικές βόμβες, τα βιολογικά και τα πυρηνικά όπλα, έχουμε μια βαθιά αγωνία για το αν θα μας καταστρέψουν οι νοήμονες μηχανές. Από την άλλη, είναι ή ίδια η ανησυχία που θα μας επιτρέψει να κινηθούμε προς κατευθύνσεις που θα μειώσουν οποιονδήποτε κίνδυνο από χρήση τέτοιων μηχανών.»*

Αν κάτι θα ήταν επωφελές από τη δική μου μικρή συμβολή στην επιτυχία της εκδήλωσης θα ήταν, φρονώ, η γνωριμία – πρόταση για τα δύο εξαιρετικά βιβλία: αυτό για το *«Τι δεν μπορούν ακόμα να κάνουν οι υπολογιστές»* και αυτό για την *«Τεχνητή Νοημοσύνη – μια Διακριτική Απομυθοποίηση»*, καθώς και το διεισδυτικό άρθρο του συναδέλφου Ομότιμου Καθηγητή Σέργιου Θεοδωρίδη *«Τεχνητή Νοημοσύνη – το Τέλος της Τέχνης;»*

Ευχαριστώ για την διαδικτυακή παρουσία και τη συμμετοχή σας και ελπίζω να υπήρξα κατανοητός σε ένα προηγμένο επιστημονικό θέμα και αρκετά αμφιλεγόμενο, όχι ως προς την χρησιμότητα, αλλά ως προς τις επιπτώσεις και τα διλήμματα που εγείρονται.

ΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

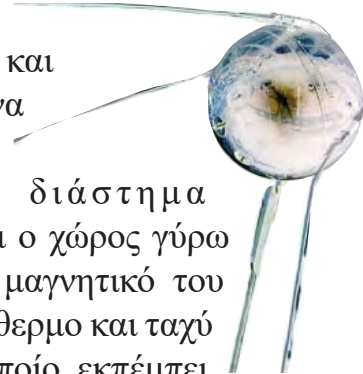
*Αν δεν στηρίζεις
το ένα σου πόδι
.....έξω απ' τη Γη,
.....ποτέ σου
δεν θα μπορέσεις
να σταθείς επάνω της.*

Ο. Ελύτη, *Μαρία Νεφέλη*,
Εκδ. Ίκαρος, 1978



Εισαγωγή

Η Φυσική Διαστήματος μελετά τα υλικά και τα φαινόμενα στον χώρο γύρω από τον Ήλιο και το ηλιακό σύστημα. Η χρήση των τεχνητών δορυφόρων επέτρεψε για πρώτη φορά την άμεση επιτόπια εξερεύνηση του κοντινού αλλά και μακρινού διαστήματος, παρέχοντας την ευκαιρία να γνωρίσουμε λεπτομερώς το πιο απομακρυσμένο περιβάλλον της Γης: το Γεωδιάστημα, το κοντινό διάστημα γύρω από την Γη, την Μαγνητόσφαιρα, που είναι ο χώρος γύρω από τον πλανήτη μας που επηρεάζεται από το μαγνητικό του πεδίο, τον ηλιακό άνεμο, που είναι αραιότατο υπέρθερμο και ταχύ μαγνητισμένο αέριο σε μορφή πλάσματος, το οποίο εκπέμπει συνεχώς ο Ήλιος προς τα έξω με μεγάλη υπερηχητική ταχύτητα και σχηματίζει την ηλιόσφαιρα.



Οι διαστημικές βιομηχανικές και οικονομικές δραστηριότητες εδώ και δεκαετίες αποτελούν σημαντικότατο ποσοστό των εσόδων και των οικονομικών δραστηριοτήτων πολλών κρατών.

Ο οικονομικός διαστημικός τομέας αυξάνει παγκοσμίως 7% ανά έτος. Η Ελλάδα έχει ήδη από δεκαετίες ένα σημαντικότερο άριστα εκπαιδευμένο επιστημονικό δυναμικό που μένει αδρανές ή ακόμη χειρότερο εξάγεται σε άλλες ανταγωνίστριες χώρες, που μπορεί και πρέπει να αποδώσει άριστα προς όφελος όλων μας, της βιομηχανίας και του κάθε Έλληνα.¹

Το ΕΚΠΑ είναι ένα από τα πρώτα πανεπιστήμια στον Κόσμο, ίσως και το πρώτο, που περιέλαβε στο πρόγραμμά του διδασκαλία Φυσικής Διαστήματος, ένα μάθημα που είχα την τύχη να διαμορφώσω από την αρχή. Ο ηλιακός άνεμος είναι ουσιαστικά το κύριο αντικείμενο της φυσικής διαστήματος. Ο ηλιακός άνεμος είναι μαγνητισμένο πλάσμα που εκτονώνεται συνεχώς σχεδόν ακτινικά από τον Ήλιο με πολύ μεγάλη ταχύτητα, που συνέχεια αυξάνει και γίνεται υπερηχητική. Ο ηλιακός άνεμος δημιουργεί τεράστια περιοχή μέσα στον Γαλαξία που ονομάζεται ηλιόσφαιρα. Στον δρόμο του ο ηλιακός άνεμος αλληλεπιδρά με τους πλανήτες και άλλα σώματα και δημιουργεί τις μαγνητόσφαιρες.

Η ανακάλυψη του ηλιακού ανέμου είναι χαρακτηριστική περίπτωση απλής θεωρίας, που δημιούργησε την νέα επιστήμη της φυσικής διαστήματος. Αυτή είναι η μεγάλη επιτυχία του E. N. Parker, ο οποίος με λίγες μαθηματικές πράξεις σε μία σελίδα χαρτί απέδειξε, ότι ο Ήλιος εκπέμπει συνεχώς τον ηλιακό άνεμο, ο οποίος αρχίζει την εκτόνωσή του με ταχύτητα πολύ μικρότερη της διαφυγής (615 km/sec). Ο ηλιακός άνεμος φεύγει από τον Ήλιο παρόλο που η ταχύτητα διαφυγής είναι τεράστια, πολύ μεγαλύτερη από τις ταχύτητες που μετριοούνται στην επιφάνεια του κοντινού μας άστρου. Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ηλιακού ανέμου με τα μαγνητικά πεδία των πλανητών ή τις ατμόσφαιρες των πλανητών, όπως η Αφροδίτη, ο Άρης, οι κομήτες και μερικοί δορυφόροι πλανητών:



Ο Parker βασίστηκε στον L. Biermann, ο οποίος από την κλίση των ιοντικών ουρών κομητών προέβλεψε την ύπαρξη συνεχούς ροής ιοντισμένου υλικού από τον Ήλιο, του οποίου μέτρησε την ταχύτητα 600–700 km/s. Η ύπαρξη του ηλιακού ανέμου με επιτόπιες μετρήσεις επιβεβαιώθηκε θριαμβευτικά με τα πρώτα διαστημόπλοια από το 1959 (Λούνα 1,2,3, Βενέρα 1 και Mariner 2).

1 Greenberg, J. S. (Ed.). (1992). *Space economics* (Vol. 144). AIAA. Peeters, W. (2001). *Space marketing: a European perspective* (Vol. 11). Springer Science & Business Media. De Concini, A., & Toth, J. (2019). The future of the European space sector. *How to leverage Europe's technological leadership and boost investments for space ventures*, Innovation Finance Advisory in collaboration with the European Investment Advisory Hub, part of the European Investment Bank's advisory services.

Η Φυσική Διαστήματος έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλους τομείς της Αστροφυσικής κατά το ότι είναι η πρώτη κοσμική επιστήμη που έχει την δυνατότητα να κάνει ενεργά πειράματα κοσμικής κλίμακας, σε αντίθεση με άλλα πεδία έρευνας που χρησιμοποιούν μόνο την παρατήρηση, όπως η κλασική Αστροφυσική. Τέτοια υπήρξαν τα πειράματα που έγιναν στην γήινη μαγνητόσφαιρα για πρώτη φορά από τον Έλληνα Νίκο Χριστοφίλου, τόσο στην μαγνητόσφαιρα της Γης, όσο και στο πλάσμα του διαπλανητικού χώρου.



Ο διαπλανητικός χώρος και οι ποικίλες μαγνητόσφαιρες των πλανητών και ιδιαιτέρως της Γης, που είναι και η πιο προσιτή, αποτελούν άριστα εργαστήρια φυσικού πλάσματος. Αποτελούν άριστο δείγμα αστροφυσικού πλάσματος, το οποίο έχουμε την δυνατότητα να παρατηρούμε με δειγματολήπτες τα διαστημόπλοια, που είναι απείρως μικρότερα από τις διαστάσεις όχι μόνον του χώρου που καταλαμβάνει το πλάσμα αλλά και του μήκους Debye, που είναι χαρακτηριστική απόσταση της εμβέλειας των δυνάμεων των φορτίων σε ένα πλάσμα. Η διαδικασία της μέτρησης δεν επηρεάζει δραστικά την φυσική κατάσταση του πλάσματος, με αποτέλεσμα να μην αλλοιώνονται οι μετρήσεις από την παρουσία των μηχανημάτων μέτρησης, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στα εργαστηριακά πλάσματα, όπου οι μετρήσεις επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία των μετρητικών μας οργάνων που αλλοιώνουν τις συνθήκες μέτρησης.

Η ιστορία της διαστημικής

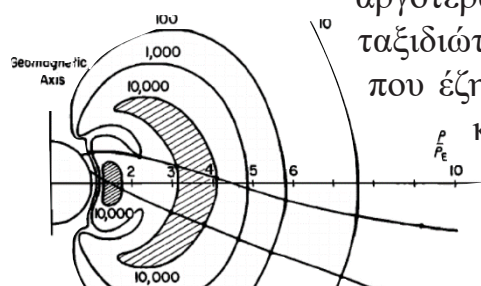
Ας δούμε συνοπτικά την ιστορία της διαστημικής. Η ανθρωπότητα εισήλθε στην διαστημική εποχή στις 21.28, ώρα Ελλάδος, της 4ης Οκτωβρίου 1957. Ήταν η στιγμή που, με την ευκαιρία του διεθνούς έτους γεωφυσικής, εκτοξεύθηκε ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος της Γης, ο *Σπούτνικ Ι* (ο Συνταξιδιώτης).



Έτσι άρχισε το ρηξικέλευθο ταξίδι του πρώτου δορυφόρου στο διάστημα, γυρνώντας γύρω από την Γη 1400 φορές, εισάγοντας την Γη στην διαστημική εποχή. Η τροχιά είχε μέγιστο ύψος 1000 χιλιόμετρα, πολύ πάνω από την ανώτατη ατμόσφαιρα. Με τον πρωτόγονο εξοπλισμό και τις τέσσερις κεραίες του έστειλε το μήνυμά του: «Εδώ είμαι! Εδώ

πετάω» από το αφιλόξενο περιβάλλον, γνωστοποιώντας έτσι σε όλους την πρωτιά του στο διάστημα. Η ανθρωπότητα ένοιωσε ότι η πόρτα της απεραντοσύνης, που την χτυπούσε αιώνες τώρα από την εποχή του Δαιδάλου και Ικάρου, άρχισε να μισανοίγει. Ο Σπούτνικ έγινε ορατός για πρώτη φορά πάνω από την Αθήνα την 12η Οκτωβρίου στις 22.36 το βράδυ. Ήμουν τότε μαθητής στο τριθέσιο δημοτικό σχολείο στα Εξάρχεια και θυμάμαι μέχρι σήμερα με ιδιαίτερη εντύπωση το ξάφνιασμα του κόσμου εκείνες τις ημέρες. Θυμάμαι πολύ καλά την έκθεση ιδεών που μας έβαλαν ακριβώς τότε, λίγο πριν την εκτόξευση, με θέμα: «Θα κατακτήσει ο άνθρωπος το Σύμπαν;» Θυμάμαι ότι αμφιταλαντευόμουν σχετικά με το τι θα γράψω, αλλά δυστυχώς δεν θυμάμαι αν έγραψα τελικά, ότι ο άνθρωπος θα κατακτήσει το διάστημα. Σημειώστε, ότι η αστρονομία ήταν μια από τις αγάπες μου μαζί με τα μαθηματικά και τις κατασκευές· είχα φτιάξει μάλιστα και ένα τηλεσκόπιο και αργότερα δοκίμαζα πολλούς πυραύλους κατασκευασμένους με χαρτί και μπαρούτι.

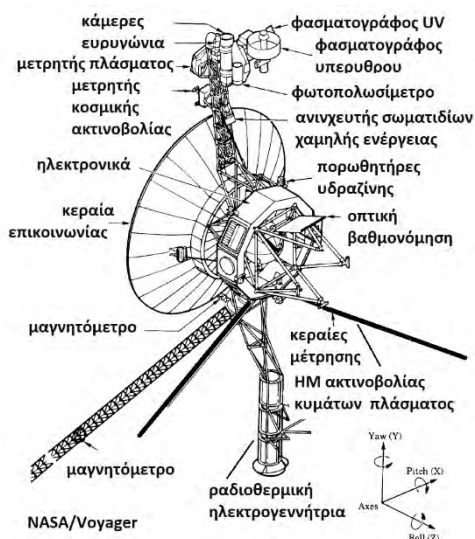
Το απίστευτο όμως, η κατάκτηση του διαστήματος, ούτως ή άλλως είχε πράγματι αρχίσει να επιτυγχάνεται και με μεγάλη επιτυχία. Η έκπληξη μεγάλωσε και το ενδιαφέρον του κόσμου κορυφώθηκε, όταν ένα μήνα



αργότερα ο Σπούτνικ II εκτοξεύτηκε με ένα μικρόν ταξιδιώτη, την ασπρόμαυρη σκυλίτσα Λάικα, που έζησε για δέκα μέρες την δόξα του πρώτου κοσμοναύτη. Λίγες εβδομάδες αργότερα ακολούθησε ο τεχνητός δορυφόρος *Explorer I* που εκτοξεύθηκε με ένα

πύραυλο, που αποτελούσε μετεξέλιξη του γερμανικού πύραυλου V-2, ο οποίος βομβάρδιζε το Λονδίνο, και ο οποίος μετονομάστηκε Δίας (Jupiter) από τον πατέρα του W. von Braun, ο οποίος μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο πήγε στις ΗΠΑ μαζί με χιλιάδες γερμανούς επιστήμονες.

Αξίζει να αναφέρουμε, ότι ο δάσκαλος μας καθηγητής Δ. Κάππος, στον οποίο οφείλουμε σε τεράστιον βαθμό τον τρόπο της θεωρητικής γενικής θεώρησης και διάνοησης που αντιμετωπίζουμε τα προβλήματά μας, έπαιξε συμπτωματικά σημαντικό ρόλο και στην εξέλιξη της διαστημικής. Ο Δ. Κάππος φυγάδευσε τον W. von Braun οδηγώντας τον στους Αμερικανούς. Στο



τέλος του πολέμου στην Γερμανία βρέθηκαν ο Κάππος, ο von Braun και οι σύζυγοί τους σε μιαν αποθήκη σιδηροδρομικού σταθμού, κάτω από πολύ δύσκολες συνθήκες πολέμου. Κάποια στιγμή ο Κάππος απελπισμένος φωνάζει Ελληνικά: «Παναγία μου δεν υπάρχει κανένας Χριστιανός να μας σώσει;» Τον ακούει ο Σοβιετικός αξιωματικός που είναι Ελληνικής καταγωγής και υποδεικνύει στα δυο ζευγάρια, πώς θα περάσουν κάτω από τα σταθμευμένα τραίνα, ώστε να βρεθούν στο Αμερικανικό στρατόπεδο. Έτσι οι von Braun και Κάππος με τις οικογένειές τους πήγαν στις ΗΠΑ και την Ελλάδα αντίστοιχα. Αν δεν είχε γίνει αυτό το τυχαίο γεγονός, η εξέλιξη της διαστημικής θα ήταν πιθανότατα διαφορετική.

Ο *Explorer I*, ο πρώτος δορυφόρος των ΗΠΑ, ήταν εξοπλισμένος με απλά επιστημονικά όργανα, ένα απαριθμητή Geiger-Müller και οδήγησε στην ανακάλυψη των ζωνών ακτινοβολίας γύρω από την Γη από τον James van Allen και τους συνεργάτες του, που μέχρι τότε μελετούσαν σωμάτια κοσμικής ακτινοβολίας και το Βόρειο Σέλας, με όργανα τοποθετημένα σε επίγειους σταθμούς· έγιναν οι πρώτοι Αμερικανοί διαστημικοί φυσικοί και ανάμεσά τους ο κ. Σταμάτης Κριμιζής.

Λίγο αργότερα, στις 12 Απρίλη 1961 (Τετάρτη του Πάσχα) ο πρώτος κοσμοναύτης, ο Γιούρι Γκαγκάριν, πέρασε στην ιστορία κάνοντας στο διάστημα τον πρώτο γύρο της Γης, 40 αιώνες μετά τον Ίκαρο. Η πρόοδος των διαστημικών επιστημών από τότε υπήρξε ραγδαία και έτσι το 1969 η ανθρωπότητα είχε όλες τις γνώσεις και την απαραίτητη τεχνολογία για να πατήσει στην Σελήνη, όπως είχε κάνει ο Ικαρομένιππος 23 αιώνες νωρίτερα στο μυθιστόρημα επιστημονικής φαντασίας του Μενάνδρου, ενώ ήδη διαφαίνεται ότι η ημέρα που ο άνθρωπος θα πάει σε άλλους πλανήτες για επιστημονικούς λόγους δεν είναι μακριά. Ένα ακόμη όνειρο γίνεται σιγά-σιγά όσο και αδήριτα και σταθερά πραγματικότητα. Έτσι θα εκπληρωθεί τελικώς το υποδηλούμενο από το ρητό του Κωνσταντίνου Τσιολκόφσκι:



Γκραβούρα σέλαος

«Η Γη δεν είναι παρά το λίκνο της ανθρωπότητας και κανείς δεν μένει στο λίκνο του αιωνίως».

Το πλάσμα

Το *Πλάσμα* που ονομάζεται και «τέταρτη κατάσταση της ύλης» είναι ιονισμένη ύλη. Στο *πλήρως ιονισμένο πλάσμα* όλα τα σωματίδια είναι ιόντα. Αντιστοίχως υπάρχουν το μετρίως ή ασθενώς ιονισμένα πλάσματα. Ο ηλιακός άνεμος είναι πλήρως ιονισμένο πλάσμα. Το πλάσμα περιέχει αρνητικά και θετικά ιόντα σε ίσες πυκνότητες φορτίων, έτσι που να είναι κατά μέσον όρο ηλεκτρικά ουδέτερο. Η ύλη, δηλαδή, για να θεωρηθεί πλάσμα πρέπει να είναι μακροσκοπικώς ουδέτερη. Δηλαδή, κατά μέσον όρον η αριθμητική πυκνότητα των θετικών και αρνητικών ιόντων να είναι η ίδια. Το πλάσμα παρουσιάζει μία συλλογική συμπεριφορά, ως αποτέλεσμα των δυνάμεων *Coulomb* μεταξύ των ιόντων και αυτό είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του.



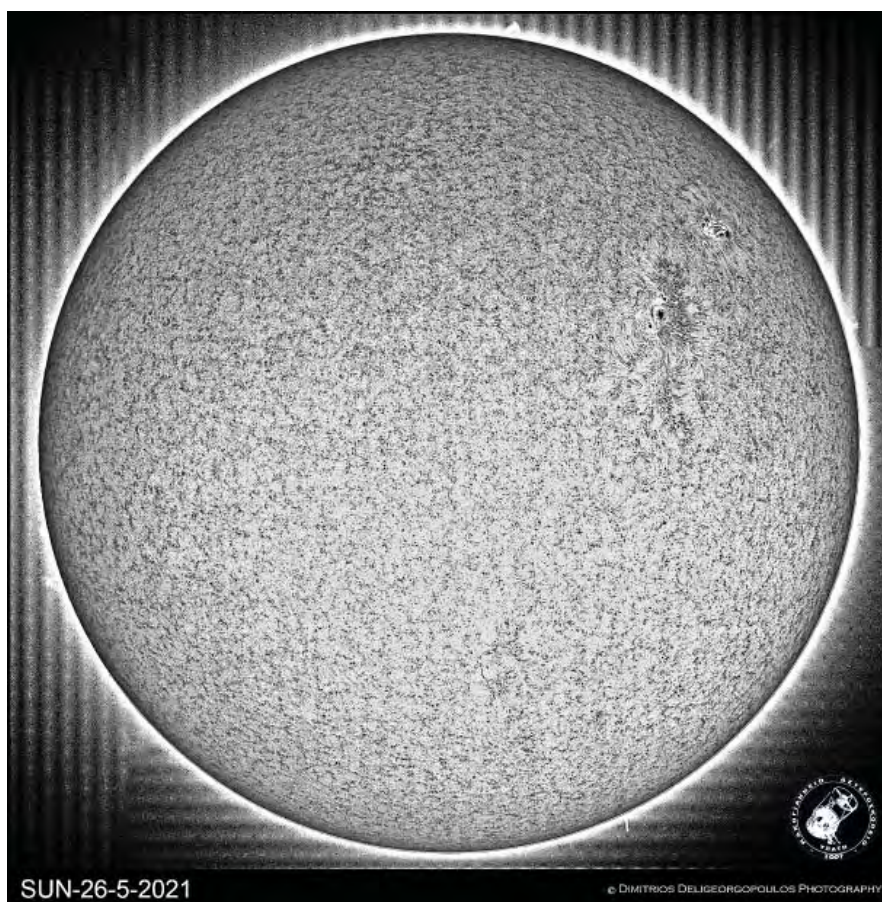
Φωτογραφία του βορείου σέλαος.
United States Air Force φωτογραφία
του κ. Senior Airman Joshua Strang

Ο όρος πλάσμα εισάγεται από τον Irving Langmuir το 1929, όταν μελετούσε φωτοβολούν ιονισμένο αέριο σε σωλήνα με υψηλή τάση. Εκκενώσεις ηλεκτρικού τόξου με υψηλή τάση ιονίζουν το αέριο που ονομάστηκε πλάσμα, επειδή συχνά αυτό παίρνει την μορφή του δοχείου μέσα στο οποίο περιέχεται. Ο Debye, όταν μελετούσε

ισχυρούς ηλεκτρολύτες, διαπίστωσε ότι λόγω της συλλογικής δράσης των φορτίων του πλάσματος η συμπεριφορά τους περιγράφεται με ένα δυναμικό παρόμοιο με του *Coulomb*, του οποίου η δράση περιορίζεται σε μια σφαίρα γύρω από το φορτίο που το προκαλεί, μέχρι μίαν απόσταση που ονομάστηκε μήκος Debye. Σε ένα ιονισμένο αέριο οι δυνάμεις *Coulomb* έχουν εμβέλεια πολύ μεγαλύτερη από όση οι δυνάμεις *van der Waals* που εξασκούνται μεταξύ των μορίων ενός αερίου, και αυτό αποκτά συλλογική συμπεριφορά. Η μακρά εμβέλεια των δυνάμεων *Coulomb* κάνει το πλάσμα να έχει χαρακτηριστική συλλογική συμπεριφορά και να ταλαντώνεται αργά σαν ένα ρευστό με μεγάλο ιξώδες.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ύλης του σύμπαντος (περισσότερο από 99,999%) βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος. Πλάσμα βρίσκουμε σε αφθονία στον διαπλανητικό χώρο, στην ηλιόσφαιρα, τον χώρο γύρω από τον Ήλιο, και στις μαγνητόσφαιρες των πλανητών, στους κομήτες, στον ήλιο και τα άλλα άστρα, στα νεογέννητα άστρα και τους πρωτοαστέρες, στους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες, στους πάλσαρ, στους κβάζαρ και

γενικά σε όσα αστροφυσικά περιβάλλοντα συμβαίνουν έντονα φαινόμενα που ιονίζουν την ύλη (αστροφυσικό πλάσμα).

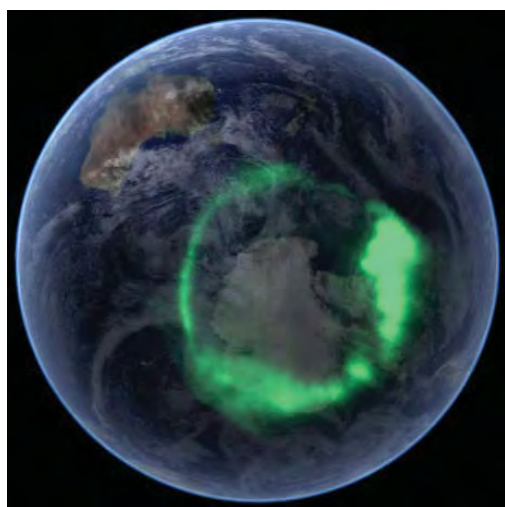


Ο Ήλιος είναι μια τεράστια σφαίρα πλάσματος, όπως σχεδόν όλα τα άστρα, φωτογραφία κ. Δημ. Δεληγεωργόπουλου, Κακογιάννειο Αστεροσκοπείο, Υπάτη.

Η φυσική διαστήματος στο Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ο πρώτος που προγραμματίζει να εντάξει ερευνητικά και διδακτικά την φυσική διαστήματος στο ΕΚΠΑ είναι ο καθηγητής της ηλεκτρονικής φυσικής αείμνηστος Μιχαήλ Αναστασιάδης, ο οποίος εργάζεται ερευνητικά με θέμα την διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις και τον ενδιαφέρει η κατάσταση του υλικού στην ιονόσφαιρα. Οι συνθήκες της ιονόσφαιρας επηρεάζουν δραστικά τις τηλεπικοινωνίες σε μακρινές αποστάσεις. Η σύζευξη μακρινών αποστάσεων επιτυγχάνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ανακλώνται στην ιονόσφαιρα και έτσι πάνε πολύ μακριά από τον ορίζοντα. Ο Μιχαήλ Αναστασιάδης ήθελε να δημιουργηθεί και εργαστήριο Φυσικής Διαστήματος στο ΕΚΠΑ, με ηλεκτρονικά και μηχανολογικά όργανα, ώστε η Ελλάδα να εκσυγχρονιστεί, όπως έλεγε ο αείμνηστος καθηγητής της Αστροφυσικής Σωτ. Ν. Σβολόπουλος. Το ίδιο

ήθελε και ο αείμνηστος Αλκιβιάδης Αποστολάκης, καθηγητής της πυρηνικής φυσικής, ο οποίος είχε κάνει διδακτορικό με θέμα την κοσμική ακτινοβολία στο πρωτοπόρο εργαστήριο του Μάντσεστερ με τον P. Blackett (βραβείο Nobel). Αρχίζοντας στην Αθήνα ως καθηγητής ο Άλκης, με ενθάρρυνση του Αναστασιάδη και με τον μαθητή του, και σήμερα καθηγητή, κ. Αθ. Γεράνιο, ιδρύει σταθμό μέτρησης νετρονίων κοσμικής ακτινοβολίας βάρους δεκαπέντε τόνων πάνω στην ταράτσα του παλαιού Χημείου, Σόλωνος 104. Ο μετρητής αυτός εγκαταστάθηκε και λειτουργεί άριστα στην Πανεπιστημιούπολη, όπου τον έβαλε με επιτυχία και ανέπτυξε εξαιρετική ερευνητική δραστηριότητα



Το νότιο σέλας πάνω από την Ανταρκτική. Σχεδόν κατοπτρική εμφάνιση σέλαος συμβαίνει στον άλλο μαγνητικό πόλο της Γης, NASA IMAGE satellite

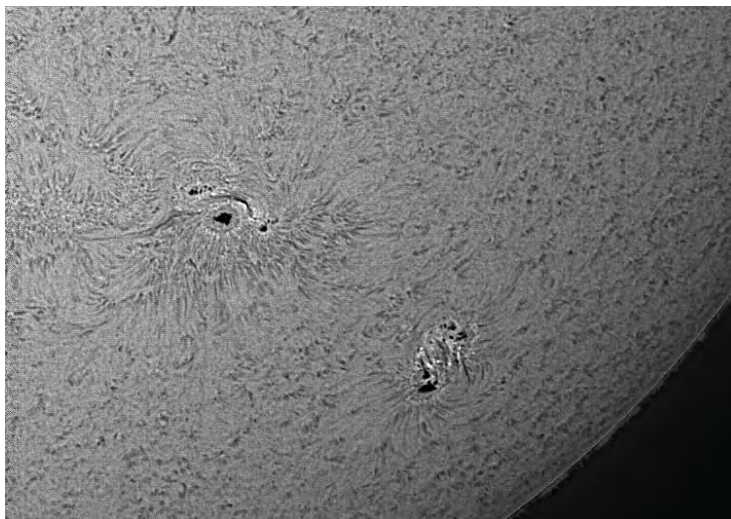
η καθηγήτρια κα Ελ. Μαυρομιχαλάκη, με πρωτοποριακά ηλεκτρονικά, μετά από δική μου προτροπή. Μετά από 50 χρόνια λειτουργίας, ο μετρητής είναι σήμερα πρότυπο παγκοσμίως και μπορεί να δώσει ακόμη πολλά.

Το 1969 άρχισα την πτυχιακή μου εργασία με θέμα την κοσμική ακτινοβολία, κατασκευάζοντας μαζί με άλλους επτά συμφοιτητές, τέσσερα τηλεσκόπια με τρεις μετρητές κοσμικής ακτινοβολίας το καθένα, τα οποία είκοσι χρόνια αργότερα με καλύτερα ηλεκτρονικά έγιναν ασκήσεις φοιτητών στο Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής και άσκησαν αρκετές γενιές φυσικών του ΕΚΠΑ.

Το 1971 αρχίζω το διδακτορικό μου διαδεχόμενος τον δάσκαλό μου Αθ. Γεράνιο, τότε βοηθό και μετέπειτα καθηγητή, που στο μεταξύ υπηρετούσε την στρατιωτική του θητεία. Από τους πρώτους μήνες άρχισα να στέλνω κάθε μήνα τις ωριαίες μετρήσεις της κοσμικής ακτινοβολίας στην NASA και σε είκοσι ακόμη κέντρα αστρονομικών δεδομένων και άλλες σημαντικές ερευνητικές ομάδες σε όλο τον Κόσμο, Ρώμη, Κίελο, Μόσχα, ΗΠΑ, Γαλλία, Νότιο Αφρική και Καναδά. Αυτά είναι τα πρώτα δεδομένα που αποστέλλονται στο Παγκόσμιο Κέντρο Διαστημικών Δεδομένων (World Data Center for Rockets and Satellites <https://nssdc.gsfc.nasa.gov>) από το ΕΚΠΑ και όλη την Ελλάδα.

Τον Αύγουστο του 1972 γίνονται μερικές σημαντικότερες ηλιακές εκρήξεις που εκτόξευσαν πολύ ταχύ και έντονα μαγνητισμένο πλάσμα και κοσμική ακτινοβολία, η οποία θα μπορούσε να είχε σκοτώσει τους αστροναύτες που εκείνη την εποχή πήγαιναν κατά καιρούς στην Σελήνη με

το πρόγραμμα Απόλλων. Ήμουν πολύ τυχερός διότι αυτό το φαινόμενο ήταν πολύπλοκο, με τεράστιο επιστημονικό ενδιαφέρον, με έντονη επίδραση στην Γη. Η κοσμική καταιγίδα του Αυγούστου 1972 μετεξελίχθηκε σε άριστο δάσκαλο για να εκπαιδευτεί νέος ερευνητής και να εκπονήσει διδακτορική διατριβή. Οι μετρήσεις της νουκλεονικής συνιστώσας στο ΕΚΠΑ έδειξαν τεράστια μείωση Forbush, ενώ τα διαστημόπλοια λίγο νωρίτερα είχαν καταγράψει τεράστια αύξηση που θα είχε σκοτώσει αστροναύτες, αν υπήρχαν εκείνη την εποχή. Η μελέτη και κατανόηση των συνθηκών του διαπλανητικού διαστήματος από τον Ήλιο μέχρι την Γη ήταν απαραίτητη για την κατανόηση των μεταβολών της έντασης και της ενέργειας της κοσμικής ακτινοβολίας. Ευτυχώς η NASA παρείχε τις λεπτομερείς μετρήσεις σε μαγνητοταινίες, πόσο μάλλον που μας γνώριζε καλά, αφού και εμείς στέλναμε πολύτιμες μετρήσεις, οι οποίες ακόμη σήμερα υπάρχουν στις βάσεις δεδομένων της NASA, ώστε να είναι διαθέσιμες σε όλους. Συγχρόνως, επειδή επέβλεπα επί τρία έτη τέσσερα ζεύγη φοιτητών κάθε έτος για την πτυχιακή τους εργασία, οργάνωσα και τα πρώτα σεμινάρια και μαθήματα κοσμικής ακτινοβολίας και φυσικής διαστήματος για κάθε σειρά φοιτητών. Αυτή ήταν η αρχή της φυσικής διαστήματος στο ΕΚΠΑ και την Ελλάδα. Κατόπιν, και ενώ εγώ εργαζόμουν στο μεγάλο σχολείο του Imperial College, ο αείμνηστος Μιχαήλ Παπαγιάννης, καθηγητής στις ΗΠΑ, άρχισε να διδάσκει το μάθημα φυσικής διαστήματος ως επισκέπτης καθηγητής. Με την επιστροφή μου στο ΕΚΠΑ και με την προτροπή του αείμνηστου Σωτ. Σβολοπούλου άρχισα να διδάσκω την φυσική διαστήματος. Στην συνέχεια συνεργάστηκα με την καθηγήτρια κα Π. Πρέκα, και τώρα ο καθηγητής κ. Ι. Δαγκλής έχει μια άριστη νέα ομάδα φυσικής διαστήματος. Στην διάρκεια όλων των ετών επέβλεπα γύρω στις 250 πτυχιακές εργασίες και 40 διδακτορικές διατριβές και άλλες τόσες εργασίες μεταπτυχιακών, οι περισσότερες από τις οποίες στην φυσική διαστήματος. Συμμετείχαμε και συμμετέχουμε σε πολλά διαστημικά πειράματα της NASA (από την οποία πήραμε βραβείο, όπως και από την American Geophysical Union) και της ESA.



Κηλίδες του Ηλίου, Ήλιος,
φωτογραφία κ. Δημ.
Δεληγεωργόπουλου,
Κακογιάνειο
Αστεροσκοπείο,
Υπάτη.

Το γεωδιάστημα

Η χρήση των τεχνητών δορυφόρων επέτρεψε για πρώτη φορά την άμεση επιτόπια εξερεύνηση του κοντινού αλλά και μακρινού διαστήματος, παρέχοντας την ευκαιρία να γνωρίσουμε λεπτομερώς το περιβάλλον της Γης σε μεγάλη κλίμακα, το *Γεωδιάστημα*. Περιλαμβάνει το κοντινό διάστημα γύρω από την Γη, την *Μαγνητόσφαιρα*, που είναι ο χώρος γύρω από τον πλανήτη μας που επηρεάζεται από το μαγνητικό του πεδίο. Το γεωδιάστημα είναι μέσα στον *ηλιακό άνεμο*, που είναι αραιότατο υψηλής θερμοκρασίας μαγνητισμένο και ταχύ αέριο, το οποίο εκπέμπει συνεχώς ο Ήλιος προς τα έξω με μεγάλη ταχύτητα, την *Ηλιόσφαιρα*, που σχηματίζει ο ηλιακός άνεμος γύρω από τον Ήλιο. Μέσα στην ηλιόσφαιρα κινείται η Γη, η Σελήνη, οι άλλοι πλανήτες με τους δορυφόρους τους.

Το σέλας, το μαγνητικό πεδίο της Γης και ο ηλιακός άνεμος

Γεωφυσικά φαινόμενα όπως αυτά του Βορείου Σέλαος, είχαν εντυπωσιάσει, χωρίς αμφιβολία, τον προϊστορικό άνθρωπο και έχει υποστηριχθεί ότι μερικές από τις ζωγραφιές του Cro-Magnon απεικονίζουν οφιοειδείς ή μαιανδροειδείς μορφές Σέλαος. Το σέλας περιγράφεται στην *Θεογονία* του Ησίοδου και αργότερα από τους Αναξιμένη και Ξενοφάνη τον 6ον αιώνα π.Χ. Υπάρχουν περιγραφές παρατήρησης γύρω στο 503 π.Χ. από τον Ιπποκράτη και μαθητή του Αισχύλο (τον 5ο αιώνα π.Χ.), τον Αριστοτέλη και τον Σενέκα αργότερα. Το σέλας περιγράφουν αρχαίοι Κινέζοι και Κορεάτες συγγραφείς που αναφέρονται στα εντυπωσιακά αυτά φαινόμενα και φυσικά οι Σκανδιναβοί, οι οποίοι το μελέτησαν διεξοδικά.

Το σέλας δημιουργείται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης υλικού που εκπέμπει ο Ήλιος, του ηλιακού ανέμου, με το μαγνητικό πεδίο της Γης. Τα φορτισμένα σωμάτια οδηγούνται από τις δυναμικές γραμμές του διπόλου της Γης προς τον μαγνητικό πόλο και κτυπούν την ανώτατη ατμόσφαιρα, το πλάσμα της ιονόσφαιρας. Το ίδιο συμβαίνει και με σωμάτια που προέρχονται από την μαγνητοουρά της Γης, τα οποία επιταχύνονται σε ορισμένες περιπτώσεις με το φαινόμενο της μαγνητικής επανασύνδεσης στην μαγνητοουρά της Γης. Ομοίως και άλλα φορτισμένα σωμάτια που είναι παγιδευμένα στο σχεδόν διπολικό μαγνητικό πεδίο της Γης, τα οποία όταν διαταράσσεται το πεδίο από τον ηλιακό άνεμο αποσταθεροποιούνται και οδηγούμενα από τις δυναμικές γραμμές γύρω από τους μαγνητικούς πόλους κτυπούν και αυτά την ατμόσφαιρα της Γης και παράγεται σέλας. Το σέλας εμφανίζεται στο λεγόμενο ωοειδές του σέλαος, που χονδρικά είναι μια λεπτή σφαιρική ζώνη με όρια δυο μαγνητικούς παραλλήλους κύκλους της Γης, οι οποίοι μεταβάλλονται σε συνάρτηση με την δραστηριότητα του ηλιακού ανέμου, η οποία φυσικά εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα και το πώς

μεταβάλλεται το διαπλανητικό μέσο, ως αποτέλεσμα της ροής των ταχέων ρευμάτων του ηλιακού ανέμου.



Φωτογραφία του Νοτίου σέλαος από τον κύριο Samuel Blanc.
Διακρίνουμε τις σχεδόν κατακόρυφες γραμμές που δημιουργούνται κατά μήκος των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου της Γης που είναι σχεδόν κατακόρυφο κοντά στους μαγνητικούς πόλους.

Οι μελέτες των ουρών των κομητών από τον Bessel (1835), βοήθησαν στην κατανόηση της δομής και της φύσης του διαπλανητικού χώρου. Ο Mairan, όπως και ο Βενιαμίν ο Λέσβιος, σχετίζουν το σέλας με τον Ήλιο.

Ο Βενιαμίν θεωρεί ότι το σέλας δημιουργείται καθώς το πανταχekίνητο του Ηλίου αλληλεπιδρά με το πανταχekίνητο της Γης. Θυμίζω ότι ο Βενιαμίν είχε προτείνει εκπομπή του πανταχekίνητου, υλικού που βγάζουν προς όλες τις κατευθύνσεις όλα τα σώματα, με το οποίο ερμηνεύει την βαρύτητα μεταξύ σωμάτων. Θα μπορούσαμε να πούμε, ότι το πανταχekίνητο είναι αντίστοιχο προς τα *βαρυτόνια* ή *γκραβιτόνια*. Ο Βενιαμίν διατυπώνει την θεωρία του πανταχekίνητου γύρω στο 1800, έναν αιώνα πριν από την ερμηνεία των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων με βάση τα φωτόνια και ενάμιση αιώνα πριν ο Η. Yūkawa προτείνει την ανταλλαγή μεσονίων για να ερμηνεύσει τις πυρηνικές δυνάμεις το 1935, και φυσικά πολύ νωρίτερα από την εισαγωγή των υποθετικών σωματίων βαρυτονίων (ή γκραβιτονίων) που επιχειρούν να ερμηνεύσουν την βαρύτητα δύο αιώνες μετά τον Βενιαμίν. Η θεωρία του Βενιαμίν για το Σέλας είναι ουσιαστικά σωστή.

Ο Ήλιος στο διάστημα

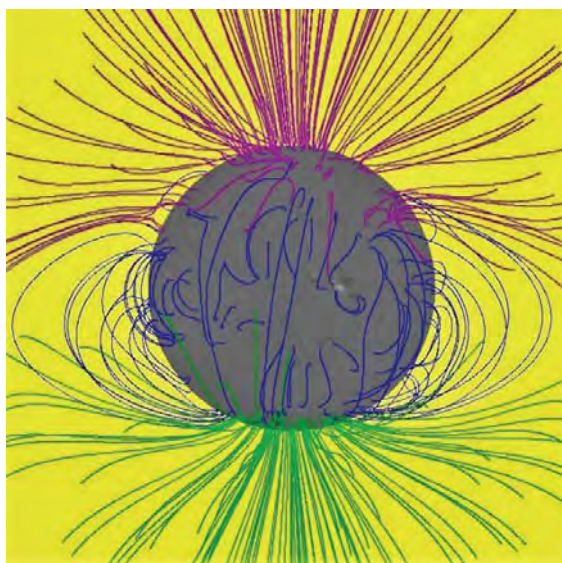
Ο Ήλιος, το κοντινό μας αστέρι, το μόνο άστρο που επηρεάζει την ζωή μας, είναι ένας κοινός νάνος αστέρας φασματικού τύπου G2V, με κίτρινο χρώμα, που ανήκει στην κύρια ακολουθία, με ενεργό θερμοκρασία 5780° K. Έχει ίδια χημική σύσταση με την Γη και τους λοιπούς πλανήτες, με εξαίρεση τα ελαφρά χημικά στοιχεία, υδρογόνο και ήλιο, που λόγω θερμοκρασίας και βαρυτικής έλξης λείπουν από τους γήινους πλανήτες Ερμή, Αφροδίτη,

Γη και Άρη. Ο Ήλιος ανήκει στην δεύτερη γενεά άστρων που φτιάχθηκαν με υλικά που έχουν περάσει από τα «πυρηνικά εργοστάσια» των αστέρων της πρώτης γενιάς που εξερράγησαν κατά την τελευταία φάση της ζωής τους ως υπερκαινοφανείς και σκόρπισαν το υλικό από την έκρηξή τους στον διαστρικό χώρο του Γαλαξία.



Ο γαλαξίας της Ανδρομέδας,
μικρός αδελφός γαλαξίας του δικού μας γαλαξία.
ESO

Η ιστορία των γνώσεων της φυσικής του Ήλιου είναι συνυφασμένη με την εξέλιξη των αντιλήψεών μας για το διάστημα από την αρχαιότητα. Ο Ιωάννης Herschel (1847) μέτρησε την λεγόμενη *ηλιακή σταθερά*, δηλαδή την ισχύ του ηλίου που πέφτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο στην Γη στα όρια της ατμόσφαιρας, η οποία μεταβάλλεται με ενδεκαετή περίοδο της ηλιακής δραστηριότητας και με μέση τιμή περίπου 1360 watt/m^2 . Τεράστια πρόοδος στην μελέτη του Ηλίου άρχισε, όταν οι φυσικοχημικοί Gustav R. Kirchhoff και R. Bunsen (1860) άρχισαν την ανίχνευση των γνωστών στην Γη χημικών στοιχείων από μακριά και με βάση τα φάσματα. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση φασμάτων Ηλίου και άστρων που είχε αρχίσει να λαμβάνει ο W. H. Wollaston (1801) και ο J. R. von Fraunhofer (1814) στην ατμόσφαιρα του Ήλιου, εγκαινιάζοντας έτσι την χημεία του σύμπαντος.



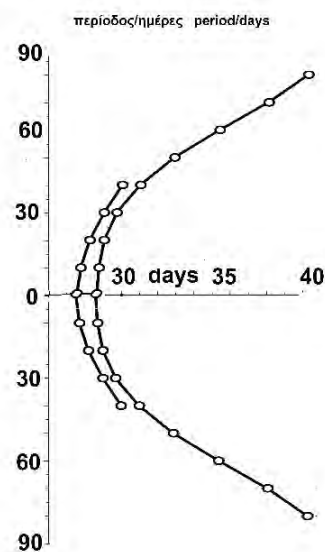
Το μαγνητικό πεδίο του ηλίου,
όπως υπολογίζεται από το αντίστοιχο
μαγνητόγραμμα. https://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/

Το πρώτο εκρηκτικό ηλιακό φαινόμενο καταγράφεται το 1859 από δυο ερασιτέχνες αστρονόμους. Ο Carrington και ο Hodson, παρατηρούσαν τον ήλιο και κατέγραψαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο την πρώτη μεγάλη έκλαμψη. Η έκλαμψη είναι απότομη έκλυση φωτεινής ενέργειας και σωματιδίων που συμβαίνει συχνά στον Ήλιο μέσα στα ισχυρά μαγνητικά πεδία των κηλίδων. Διαπιστώνουν επίσης, ότι μετά από κάποιες εκλάμψεις ακολουθούν συχνά γεωμαγνητικές διαταραχές. Οι Carrington και Hodson διάβασαν στις εφημερίδες, ότι η μαγνητική βελόνη πυξίδας ενός πλοίου δεμένου στην αποβάθρα του Τάμεση άλλαξε δραστικά διεύθυνση δυο ημέρες μετά την έκλαμψη. Περισσότερες μελέτες επιβεβαιώνουν το φαινόμενο μεταβολής του μαγνητικού πεδίου της Γης λίγες ημέρες μετά από κάποια έκλαμψη. Το φαινόμενο ονομάζεται γεωμαγνητική καταιγίδα και στην διάρκειά της εμφανίζεται μεγάλης έντασης Βόρειο Σέλας. Διαπιστώνεται έτσι η σχέση ηλιακής δραστηριότητας με εκλάμψεις και γεωμαγνητικά φαινόμενα. Ο Ήλιος αποκλειστικά δημιουργεί, διαμορφώνει και επηρεάζει το διαπλανητικό μέσο, δηλαδή το αντικείμενο της φυσικής διαστήματος, με το υλικό που εκπέμπει συνεχώς, το υπερηχητικό πλάσμα που ονομάστηκε ηλιακός άνεμος.

Διαφορική περιστροφή ηλίου και δομή του διαπλανητικού μέσου

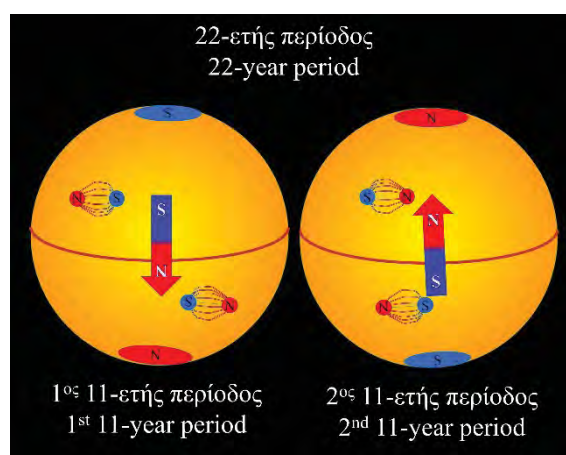
Ο Ήλιος γυρνάει κατά μέσον όρο γύρω από τον εαυτό του ως προς την Γη μέσα σε 26,87 ημέρες στον ισημερινό του και πολύ πιο αργά στους πόλους, με μέση συνοδική περίοδο 27,2753 ημέρες. Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του Ηλίου φθίνει με το ηλιογραφικό πλάτος και η περίοδος σε πλάτη 40° είναι 29,65 ημέρες. Λόγω της μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής ονομάζεται διαφορική περιστροφή του Ηλίου και είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση του 22ετούς κύκλου, σύμφωνα με την θεωρία Babcock για την δημιουργία και εξέλιξη των κηλίδων. Η ταχύτητα περιστροφής του ηλίου μεταβάλλεται με την 11ετή περιοδικότητα του Ηλίου, μεταβάλλεται με το βάθος μέσα στον Ήλιο.

Η εξάρτηση της
ταχύτητας περιστροφής
του ηλίου με το ηλιογραφικό πλάτος.



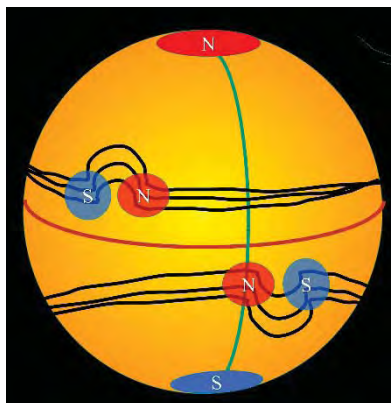
Οι ηλιακές κηλίδες

Η μελέτη του Ηλίου με τηλεσκόπια από το 1610 από τους Γαλιλαίο, Simon Marius και άλλους οδήγησε στην ανακάλυψη των κηλίδων που είναι περιοχές με έντονα μαγνητικά πεδία χιλιάδες φορές ισχυρότερα των πολικών πεδίων του Ηλίου. Η θερμοκρασία τους είναι κατά 1000° – 2000° K μικρότερη της ενεργού θερμοκρασίας του Ηλίου και είναι σκοτεινές στην περιοχή του ορατού. Οι κηλίδες δημιουργούνται καθώς λόγω της διαφορικής περιστροφής του Ηλίου οι δυναμικές γραμμές τυλίγονται γύρω από τον Ήλιο. Στις περιοχές όπου το μαγνητικό πεδίο γίνεται πολύ έντονο λόγω διαφορικής περιστροφής, η μαγνητική πίεση ανεβάζει τα υλικά που είναι έντονα μαγνητισμένα στην επιφάνεια και δημιουργείται ένα ζεύγος κηλίδων.



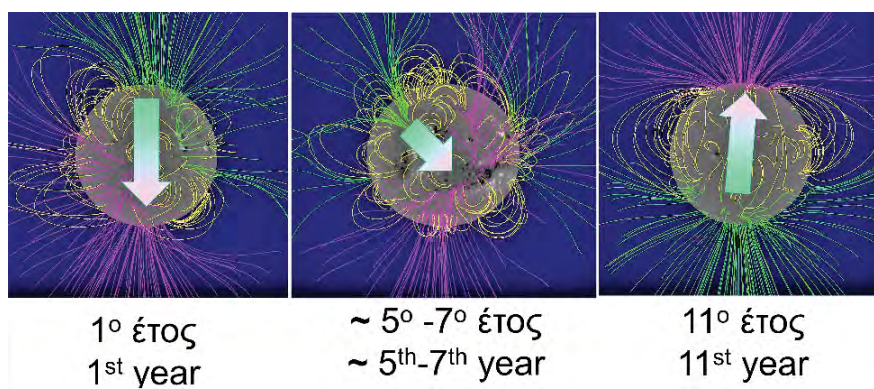
Κάθε 11 έτη η μαγνητική πολικότητα του Ηλίου αλλάζει το μαγνητικό δίπολο αναστρέφεται. Η πολικότητα του Ηλίου ρυθμίζει την πολικότητα του διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου.

Οι κηλίδες εμφανίζονται σε ζεύγη που κάθε μέλος έχει διαφορετικής πολικότητας μαγνητικό πεδίο. Τα ζεύγη κηλίδων κάθε ημισφαιρίου του Ηλίου έχουν αντίθετη πολικότητα από τα ζεύγη του άλλου ημισφαιρίου.



Οι κηλίδες δημιουργούνται στις περιοχές του Ηλίου όπου αυξάνει το μαγνητικό πεδίο. Οι δυναμικές γραμμές πυκνώνουν λόγω της διαφορικής περιστροφής του Ηλίου.

Το διπολικό μαγνητικό πεδίο του Ηλίου ταλαντώνεται και αναστρέφεται κάθε 11 έτη με συνολική περίοδο γύρω στα 22 έτη. Η κάθε 11ετής αλλαγή της πολικότητας του πεδίου σε κάθε ημισφαίριο συνεπάγεται και αλλαγή της πολικότητας των ζευγών κηλίδων. Στην διάρκεια των 11 ετών η εμφάνιση των κηλίδων αρχίζει σε μεγάλα πλάτη και βαθμιαία μετατοπίζεται προς τον ισημερινό στο τέλος της περιόδου. Το μαγνητικό δίπολο του Ηλίου αναστρέφει πολικότητα κάθε 11 έτη. Δηλαδή ο βόρειος πόλος του Ηλίου είναι βόρειος μαγνητικός για 11 έτη και μετά γίνεται νότιος μαγνητικός πόλος για άλλα 11 έτη περίπου, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στον νότιο πόλο του Ηλίου, που γίνεται από νότιος βόρειος σαν να ταλαντώνεται. Συνεπώς ο 11ετής κύκλος των κηλίδων του Ηλίου του Schwabe γίνεται 22ετής κύκλος του Hale. Αυτές οι περιοδικότητες εμφανίζονται στα μαγνητικά πεδία στον διαπλανητικό χώρο, όπου επεκτείνεται το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου.

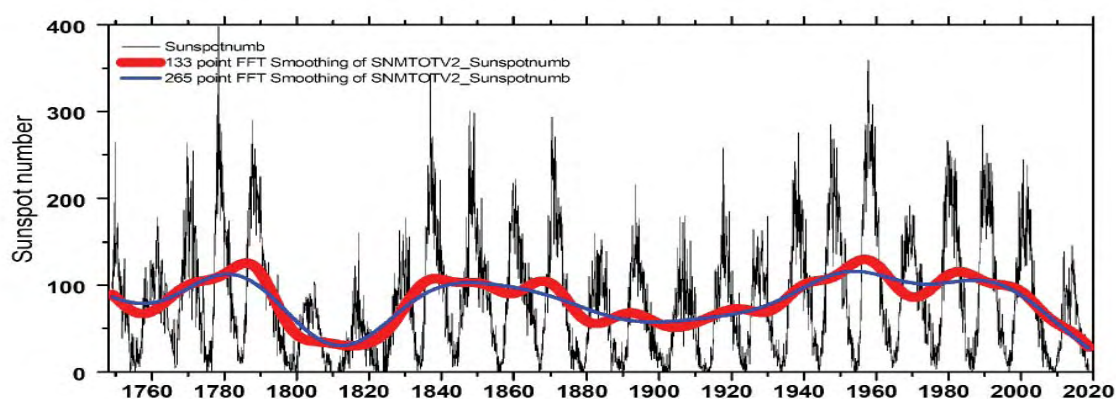


Τα μαγνητικά πεδία του Ηλίου υπολογίζονται με βάση τα μαγνητογράμματα του Ηλίου από το διαστημόπλοιο SDO της NASA. Διακρίνεται το γενικό διπολικό μαγνητικό πεδίο του Ηλίου. Το διπολικό πεδίο ταλαντώνεται, αλλάζει με περιοδικότητα 22 ετών, σε διάρκεια δύο 11-ετών κύκλων του Ηλίου. Στην εικόνα απεικονίζεται η μεταβολή σε μια 11-ετή περίοδο. Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/

Κάθε ζεύγος κηλίδων αποτελεί ένα *κέντρο δράσης* του Ηλίου. Στα κέντρα δράσης, στα μαγνητικά πεδία των κηλίδων συμβαίνουν κατά καιρούς εκρηκτικά φαινόμενα. Όταν η ενέργεια που συσσωρεύεται σε ένα κέντρο δράσης αυξηθεί πολύ, όταν τα μαγνητικά πεδία αυξηθούν και γίνουν πολύπλοκα, μπερδεμένα, και κυρίως όταν αρχίζουν να αλληλεπιδρούν με τα διπλανά τους, που αν έχουν αντίθετη πολικότητα οδηγούν στον φαινόμενο της μαγνητικής επανασύνδεσης, με αποτέλεσμα μεγάλη έκλυση ενέργειας, γίνεται έκρηξη. Σε αυτό συμβάλλει η συσσώρευση πολλών παγιδευμένων ενεργητικών σωματιδίων, πρωτονίων, ηλεκτρονίων, άλφα κλπ. σωματιδίων που η πίεσή τους συμβάλλει στην αστάθεια και την έκρηξη.

Η ηλιακή δραστηριότητα

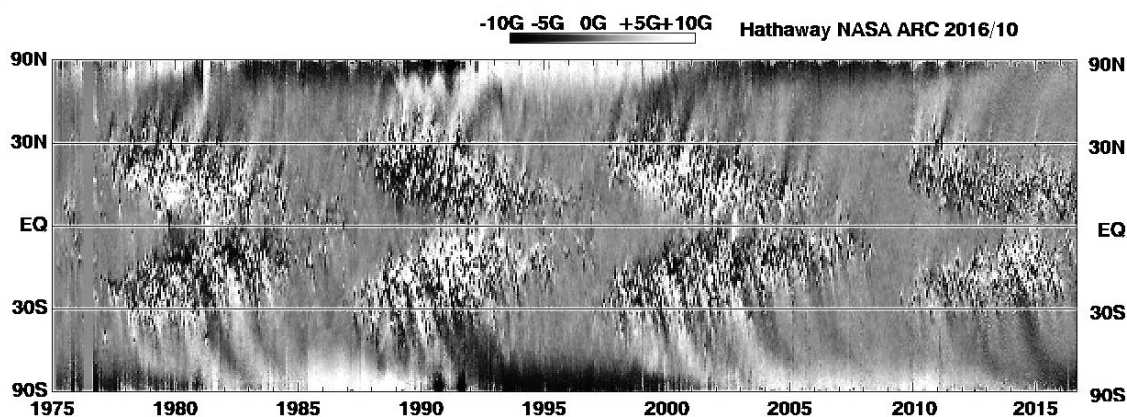
Οι ηλιακές κηλίδες ακολουθούν 11ετή περιοδικότητα. Ο Ελβετός φαρμακοποιός Heinrich Schwabe (1843) με πολυετείς παρατηρήσεις των ηλιακών κηλίδων, που έκανε έξω από το φαρμακείο του στην Ζυρίχη, βοήθησε να διαπιστωθεί η ύπαρξη της 11ετούς περιόδου της ηλιακής δραστηριότητας, δηλαδή ο *ηλιακός κύκλος*, όπως ονομάζεται. Η δραστηριότητα του Ηλίου μεταβάλλεται περιοδικά με περίοδο 11 ετών και αν ληφθεί υπόψη το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου η περιοδικότητα γίνεται 22 έτη. Με τα μαγνητόμετρα του Ηλίου διαπιστώθηκε, ότι η περίοδος του Ηλίου είναι 22ετής, αν λάβουμε υπόψη την μαγνητική πολικότητα του Ηλίου.



Η ηλιακή δραστηριότητα με βάση τον αριθμό των κηλίδων στον Ήλιο.

Είναι εμφανής η μείωση της ισχύος του Ήλιου τα τελευταία έτη.

Η κόκκινη γραμμή είναι εξομαλυσμένες μηνιαίες τιμές

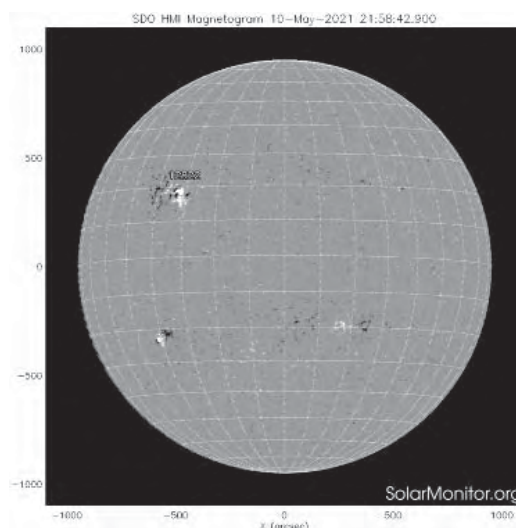


Μεταβολή του μαγνητικού πεδίου του Ηλίου με το ηλιογραφικό πλάτος και τον χρόνο. Απεικονίζεται η μέση τιμή του μαγνητικού πεδίου σε διάρκεια 27 ημερών σε κάθε πλάτος. Είναι εμφανής η 22-ετής περιοδικότητα. Φαίνεται πώς αλλάζει στα διαφορετικά πλάτη το μαγνητικό πεδίο. Είναι φανερό ότι η εναλλαγή των πεδίων δεν γίνεται ακαριαία, ούτε συγχρόνως στα δυο ημισφαίρια και πόλους.

Η 22-ετής περιοδικότητα με τις εναλλαγές του μαγνητικού πεδίου του ηλίου είναι εμφανής και αναδεικνύεται η βαθμιαία μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σε κάθε πλάτος και συνολικά. D. Hathaway, NASA.

Μαγνητικά πεδία του Ηλίου

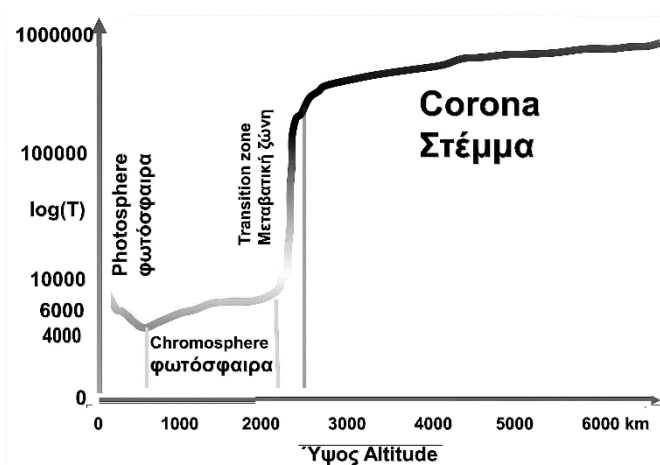
Το γενικό μαγνητικό πεδίο του Ήλιου είναι διπολικό και ταλαντώνεται με περίοδο γύρω στα 22 έτη, δυο 11ετείς περιόδους που η κάθε μια έχει αντίθεση μαγνητική πολικότητα από την άλλη. Το διπολικό μαγνητικό πεδίο του Ήλιου είναι χιλιάδες φορές ασθενέστερο από το πεδίο που εμφανίζεται στα κέντρα δράσης του Ηλίου και τις κηλίδες που αυτά περιέχουν. Το 1908 ο G. Hale ανίχνευσε την διαίρεση φασματικών γραμμών στο φάσμα διαφόρων στοιχείων που οφείλονται στην παρουσία μαγνητικού πεδίου στον Ήλιο. Η διαίρεση των φασματικών γραμμών που ανιχνεύονται στην ακτινοβολία του Ηλίου, ερμηνευμένες με βάση το φαινόμενο Zeeman, επέτρεψαν την ανίχνευση και μέτρηση του μαγνητικού πεδίου των ηλιακών κηλίδων και όλου του ηλίου αργότερα. Φοιτητής ακόμη εφευρίσκει τον φασματοηλιογράφο, δηλαδή ένα φασματογράφο με υψηλή ανάλυση που επιτρέπει να φωτογραφίζουμε τον Ήλιο σε μεμονωμένες φασματικές γραμμές, π.χ. την γραμμή H_{α} του υδρογόνου, γραμμές του He και μετράει τα μαγνητικά πεδία του Ηλίου. Η μακρόχρονη μελέτη των μαγνητικών πεδίων του Ηλίου οδήγησε τελικώς στην ανακάλυψη του 22ετούς κύκλου των μαγνητικών πεδίων του Ηλίου από τον ίδιο και τον μαθητή και συνεργάτη του Nickolson το 1919. Η 22ετής περιοδικότητα απεικονίζεται παραστατικά με τις εναλλαγές του μαγνητικού πεδίου του Ηλίου στην διάρκεια μερικών δεκαετιών, απεικονίζοντας την μέση τιμή μιας περιστροφής του Ηλίου (27 ημέρες) του μαγνητικού πεδίου σε κάθε ηλιογραφικό πλάτος. Αναδεικνύεται η βαθμιαία μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σε κάθε πλάτος και συνολικά.



Μαγνητόγραμμα του ηλίου
απεικονίζει το μαγνητικό πεδίο μετρημένο
από το διαστημόπλοιο SDO, NASA

Το στέμμα του Ηλίου

Το 1941 ανακαλύφθηκε, ότι το στέμμα του Ηλίου που έβλεπαν στις εκλείψεις από την αρχαιότητα είναι υπέρθερμο και εκπέμπει ραδιοφωνικά κύματα· λίγο αργότερα με πειράματα σε πυραύλους ανιχνεύθηκαν και ακτίνες X, και με αερόστατα και διαστημόπλοια ανιχνεύθηκαν ακτίνες γ. Το στέμμα του Ηλίου είναι φυσικά η επέκταση της ατμόσφαιράς του που θερμαίνεται με μαγνητοϋδροδυναμικά κύματα και έτσι η θερμοκρασία αυξάνει σε ένα ή περισσότερα εκατομμύρια βαθμούς. Γύρω από τον Ήλιο εκτείνεται η ατμόσφαιρά του που επεκτείνεται στο στέμμα, με θερμοκρασία που αυξάνει απότομα στους 1.000.000° K.



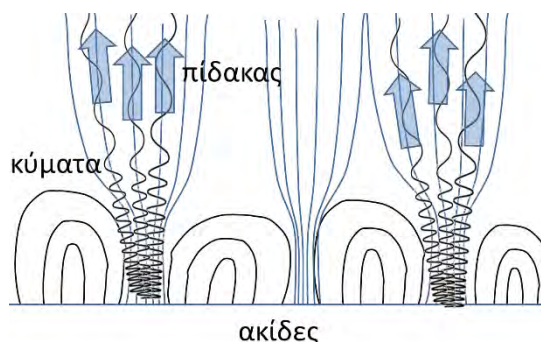
Το στέμμα εκτονώνεται υπό μορφή ηλιακού ανέμου στον διαπλανητικό χώρο και μέχρι μεγάλες αποστάσεις από τον Ήλιο. Ο ηλιακός άνεμος εκτείνεται έως την απόσταση που η πίεσή του εξισορροπείται από το μεσοαστρικό αέριο που βρίσκεται ολόγυρα και δημιουργεί την ηλιόσφαιρα.

Ο ήσυχος ηλιακός άνεμος πιθανότατα δημιουργείται διαφεύγοντας από τις ακίδες του Ηλίου, οι οποίες είναι απειράριθμες μικρές δομές. Οι ακίδες είναι πίδακες που συνυπάρχουν με την κοκκίαση, μικρές επίσης απειράριθμες μικρές δομές του Ηλίου που μοιάζουν με συννεφάκια. Πάνω στον Ήλιο υπάρχουν απειράριθμες ακίδες, περίπου 10.000.000 κάθε στιγμή. Οι ακίδες είναι παροδικοί πίδακες που δημιουργούνται σε μαγνητικούς σωλήνες που σχηματίζουν οι ανοικτές δυναμικές γραμμές ενός τεράστιου δικτύου μαγνητικών πολυπόλων (ή οιονεί «μονοπόλων») πάνω στον Ήλιο. Κάθε ακίδα έχει χρόνο ζωής 4–8 λεπτά. Μετά αντικαθίσταται από κάποια άλλη ακίδα. Οι ακίδες υπάρχουν συνεχώς στον ήρεμο Ήλιο, εκεί που δεν βλέπουμε κηλίδες και άλλα χαρακτηριστικά, και αναπαράγονται με μια μέση ζωή γύρω στα 5 λεπτά. Μέσα στις ακίδες το υλικό ανεβοκατεβαίνει με ταχύτητα δεκάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο, μεταξύ 15–80 και έως 120 km/s και ανέρχονται μέχρι μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα. Εκτιμάται ότι οι ακίδες ταλαντώνονται από τις πεντάλεπτες ταλαντώσεις του Ηλίου, αλλά δεν έχει γίνει αποδεκτό ακόμη ότι αυτές οι ταλαντώσεις δημιουργούν τα κύματα που θερμαίνουν το στέμμα.



Ακίδες Ηλίου οι οποίες θερμαίνουν το στέμμα. Εικόνα HINODE, JAXA

Θεωρείται ότι μαγνητοϋδροδυναμικά κύματα στις ακίδες, στους ανερχόμενους πίδακες, θερμαίνουν το στέμμα. Με τα κύματα των ακίδων το υλικό της ατμόσφαιρας με θερμοκρασίες 5000°K θερμαίνεται και φθάνει σε θερμοκρασία $1.000.000^{\circ}\text{K}$ ή και πολύ περισσότερο και επιτρέπουν συνθήκες για να δημιουργηθεί ο ηλιακός άνεμος. Στην αντίληψη της θέρμανσης του στέμματος από μαγνητοϋδροδυναμικά κύματα που υπάρχουν στην κατώτατη ατμόσφαιρα του Ηλίου, και ειδικότερα στις ακίδες, οδηγούμεθα από παρατηρήσεις και θεωρία. Τα κύματα ανέρχονται θερμαίνοντας το στέμμα.

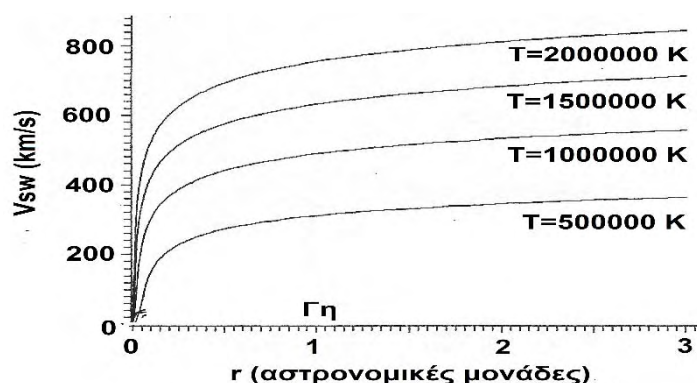


Σχηματική παράσταση ακίδων.

Οι καμπύλες γραμμές είναι οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου του Ηλίου. Οι κυματισμένες γραμμές είναι τα κύματα που θερμαίνουν τον ηλιακό άνεμο. Το μήκος κύματος αυξάνει με το ύψος διότι μειώνεται η πυκνότητα. Τα βέλη δείχνουν την ανοδική κίνηση του υλικού που δημιουργεί τους πίδακες.

Η θέρμανση του στέμματος είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα της Φυσικής Διαστήματος που ουσιαστικά είναι και πρόβλημα της Ηλιακής Φυσικής και της Αστροφυσικής γενικότερα. Αφορά πολλά άστρα με στέμματα. Πρέπει να ερμηνευθεί το πώς είναι δυνατόν να θερμαίνεται το στέμμα, όταν η ενεργός θερμοκρασία του Ήλιου είναι 5700°K , στην φωτόσφαιρα πέφτει σε 4400°K · μετά γίνεται 6000°K και σε μόλις 2000 km πιο πάνω αυξάνει στην χρωμόσφαιρα, γίνεται 250.000°K . Στην μεταβατική

ζώνη μέσα σε λίγα χιλιόμετρα πιο ψηλά γίνεται 100.000° και 200.000° K, και στο στέμμα η θερμοκρασία αυξάνει σε $1.000.000^\circ - 2.000.000^\circ$ K.



Η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου κατά Parker (1958) για διάφορες θερμοκρασίες ισοθέριου στέμματος και σφαιρική συμμετρία.

Ο Ηλιακός άνεμος

Ριζική αλλαγή των αντιλήψεων μας για τον διαπλανητικό χώρο προήλθε από τις παρατηρήσεις των ουρών των κομητών που έδειξαν ότι υπάρχει συνεχής ροή υλικού από τον Ήλιο ακτινικά προς το διάστημα. Οι ενδείξεις αυτές συμπληρώθηκαν με την απαραίτητη θεωρία που αποδείκνυε ότι το αναπάντεχο ήταν τελείως φυσικό και συνέβαινε συνεχώς στον Ήλιο.



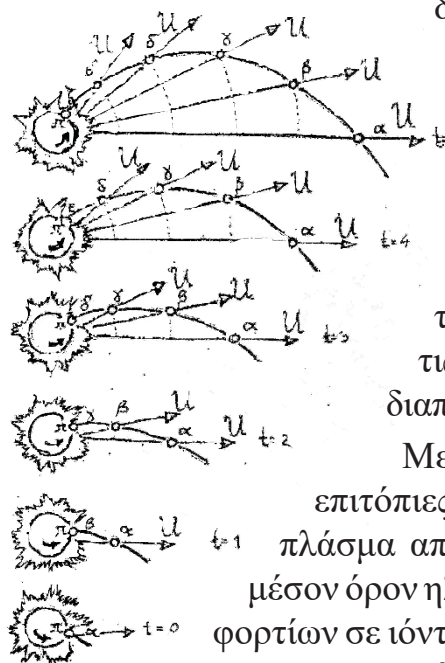
Φωτογραφία στέμματος Ηλίου κατά την έκλειψη του 2020.

Έχω τονίσει την βαθμίδα της εικόνας και απεικονίζονται έντονα τα μαγνητικά πεδία. Διακρίνεται μια τεράστια εκτόξευση στεμματικής μάζας αριστερά του Ηλίου.
Ευχαριστίες κ. Miloslav Druckmüller και κ. Andreas Möller

Φωτογραφία του κομήτη Hale-Bopp στις 8/4/1997 από τον κ. Miloslav Druckmüller. Η ιοντική ουρά που διακρίνεται αριστερά απεικονίζει ουσιαστικά το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο που είναι παγωμένο μέσα στον ηλιακό άνεμο. Η κλίση της ουράς ως προς την ακτινική κατεύθυνση οδήγησε τον L. Biermann να ανακαλύψει την ύπαρξη του ηλιακού ανέμου.

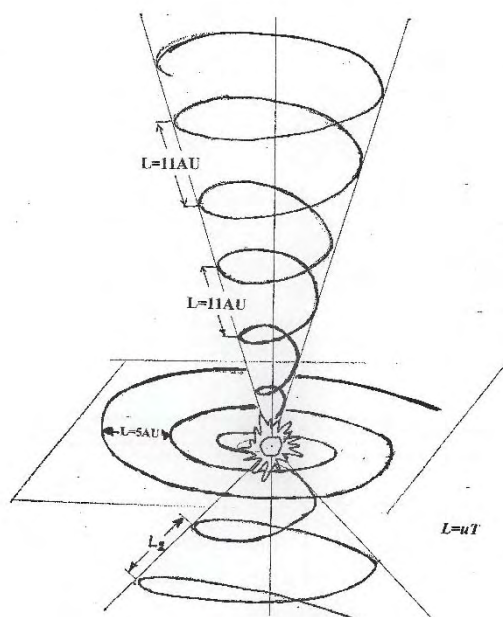


Το 1951 ο Ludwig Biermann από παρατηρήσεις της απόκλισης των ιοντικών ουρών των κομητών από την ακτινική διεύθυνση συμπέρανε ότι ταχέα ηλεκτρικά φορτισμένα σωμάτια με ταχύτητες γύρω στα 700 km/s διαφεύγουν συνεχώς από τον Ήλιο, και όχι μόνο στην διάρκεια των εκλάμψεων του Ηλίου, όπως πιστευόταν μέχρι τότε από ορισμένους. Η αντίληψη της συνεχούς εκτόνωσης του στέμματος άρχισε με τις προσεκτικές παρατηρήσεις του Biermann και εδραιώθηκε με την ιδιοφυή θεωρία του Parker. Αυτά επιβεβαιώθηκαν από τις επιτόπιες διαστημικές μετρήσεις του διαπλανητικού χώρου από τα διαστημόπλοια.



Με την έναρξη της διαστημικής εποχής, οι επιτόπιες μετρήσεις έδειξαν, ότι όντως συνεχώς ρέει πλάσμα από τον Ήλιο. Ο ηλιακός άνεμος ήταν κατά μέσον όρον ηλεκτρικά ουδέτερος, με ίσον αριθμό θετικών φορτίων σε ιόντα, κυρίως πρωτόνια και λίγα σωμάτια άλφα, προς τα αρνητικά ηλεκτρόνια. Πράγματι, ο ηλιακός άνεμος ρέει με τεράστια ταχύτητα ακτινικά, όπως προέβλεψε θεωρητικά με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς ο Αμερικανός Eugene Parker το 1958. Ο Parker με την θεωρία του έδειξε, ότι η ηλιακή ατμόσφαιρα και το στέμμα,

που αποτελεί προέκτασή του, δεν μπορούν να είναι σε θερμοδυναμική ισορροπία ούτε στατικά, αλλά αντιθέτως το στέμμα εκτονώνεται συνεχώς



ακτινικά με τεράστια ταχύτητα, σαν και αυτή που εκτίμησε ο Biermann από τον προσανατολισμό των ουρών των κομητών. Αυτό το ταχύ υλικό του στέμματος που ρέει προς τα έξω ονομάστηκε από τον Parker ηλιακός άνεμος και προκάλεσε έκπληξη σε πολλούς αστρονόμους. Πολλοί αστρονόμοι αρνήθηκαν να δεχθούν τα αποτελέσματα, τόσο της θεωρίας, όσο και τις μετρήσεις από τα διαστημόπλοια, με τα οποία δεν είχαν καμιά οικειότητα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι προβλέφθηκε από τον Parker με βάση αστρονομικές και γεωφυσικές παρατηρήσεις

αρκετών δεκαετιών, αλλά με ανατροπή των μέχρι τότε αντιλήψεων.

Ο Parker απέδειξε ότι ο Ήλιος είναι δυνατό να εκπέμπει συνεχώς υλικό από το στέμμα του προς τα έξω με ταχύτητα που αυξάνει με την απόσταση. Υπολόγισε ότι αυτή η συνεχής εκτόνωση γίνεται με τεράστια υπερηχητική ταχύτητα, που επαληθεύτηκε από τα διαστημόπλοια. Διαπιστώθηκε ότι ο ηλιακός άνεμος έχει συνήθως ταχύτητες από 400 μέχρι 800 km/s. Σε ακραία εκρηκτικά φαινόμενα μετρήθηκαν ταχύτητες μέχρι 4500 km/s. Προέβλεψε ακόμη, ότι ο ηλιακός άνεμος περιέχει ίσον αριθμό θετικών και αρνητικών φορτισμένων σωματίων, δηλαδή είναι πλάσμα. Επίσης πρόβλεψε ότι, επειδή είναι πλάσμα και έχει πολύ μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα, μεταφέρει, καθώς κινείται προς τα έξω, το μαγνητικό πεδίο της φωτόσφαιρας του Ηλίου, από όπου πηγάζει ο ηλιακός άνεμος· και αποδείχθη ότι το μαγνητικό πεδίο έχει την μορφή και την εξάρτηση από την απόσταση που πρόβλεψε η θεωρία. Παρομοίως και για την εξάρτηση της πυκνότητας με την απόσταση.

Η μελέτη του ηλιακού ανέμου και των αστρικών ανέμων, όπως και όλων των αστροφυσικών ροών, αποτελούν σημαντικότατο βοήθημα για την φυσική πλάσματος που κύριο μέλημά της είναι η επίτευξη της ελεγχόμενης θερμοπυρηνικής σύντηξης σε βιομηχανική κλίμακα με σκοπό την παραγωγή φθηνής οικολογικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα.

Στον ηλιακό άνεμο διακρίνουμε τρεις συνιστώσες:

(α) Τον ήρεμο ηλιακό άνεμο που έχει ταχύτητα μικρότερη από 350 με 400 km/s·

(β) τον ταχύ ηλιακό άνεμο που προέρχεται από τις στεμματικές οπές που είναι οι πηγές του γρήγορου ηλιακού ανέμου με ταχύτητες συνήθως μεγαλύτερες από 400 km/s, συνήθως γύρω στα 500 με 600 km/s, και

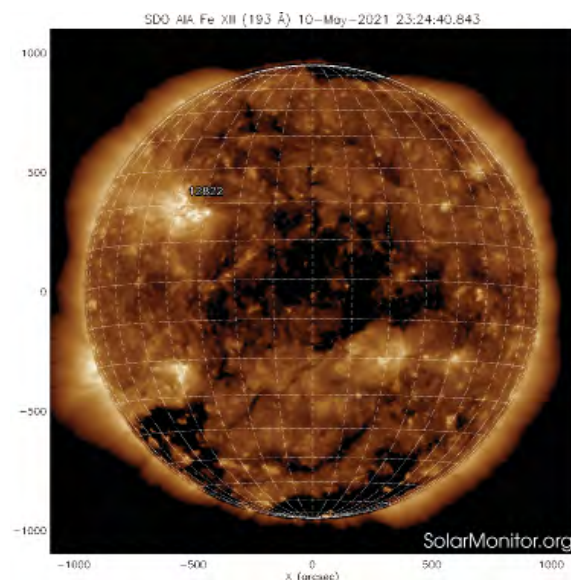
(γ) το πλάσμα που προέρχεται από ηλιακά εκρηκτικά φαινόμενα, όπως οι εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού και οι εκλάμψεις.

Το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου

Η πρακτικά άπειρη ηλεκτρική αγωγιμότητα του πλάσματος του ηλιακού ανέμου παγώνει το μαγνητικό πεδίο μέσα στο πλάσμα του ηλιακού ανέμου. Αυτός είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που διαμορφώνει το διαπλανητικό πεδίο, διότι έτσι παγωμένο μεταφέρεται από τον ηλιακό άνεμο προς τα έξω. Η μικρή ηλεκτρική αντίσταση έχει ως αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της διάχυσης του μαγνητικού πεδίου. Γενικά η διάχυση του μαγνητικού πεδίου μετατρέπει την ενέργεια του πεδίου σε θερμότητα. Τα πλάσματα που έχουν πρακτικά άπειρη αγωγιμότητα διατηρούν το μαγνητικό τους πεδίο αναλλοίωτο για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι το μαγνητικό πεδίο είναι παγωμένο μέσα στο πλάσμα. Ο ηλιακός άνεμος είναι πολύ αραιό πλάσμα, με πρακτικά άπειρη αγωγιμότητα και τα ηλεκτρικά ρεύματα που υπάρχουν μέσα του, τα οποία είναι υπεύθυνα για την ύπαρξη του μαγνητικού του πεδίου, δεν εξασθενούν, αφού η ηλεκτρική αντίσταση είναι πρακτικά μηδενική.

Το πλάσμα του ηλιακού ανέμου οδεύει ακτινικά προς τα έξω και φέρει μέσα του παγωμένο το μαγνητικό πεδίο των περιοχών του Ηλίου από τις οποίες προέρχεται. Το πεδίο εκτείνεται προς τα έξω και παρασύρεται από τον ηλιακό άνεμο. Συγχρόνως ο Ήλιος περιστρέφεται και αυτό καμπυλώνει τις ρευματικές γραμμές. Το μαγνητικό πεδίο που είναι παγωμένο μέσα στο πλάσμα αποκτά δυναμικές γραμμές που σχεδόν ταυτίζονται με τις ρευματογραμμές. Οι ρευματικές γραμμές γίνονται καμπύλες και περιγράφονται μαθηματικά ως έλικες του Αρχιμήδη, αν θεωρήσουμε ότι η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου είναι σταθερή. Αυτό ισχύει πρακτικά για τον ήρεμο ηλιακό άνεμο, όταν δεν έχουμε ταχεία ρεύματα ή πλάσμα από εκρήξεις. Στην περίπτωση που έχουμε πλάσμα από ταχεία ρεύματα, η ρευματογραμμή περιγράφεται άριστα από δυο τμήματα ελίκων Αρχιμήδη που έχουν διαφορετικές ταχύτητες. Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ουσιαστικά ταυτίζονται με τις ρευματικές γραμμές του ηλιακού ανέμου. Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου, λόγω του παγώματος, ακολουθούν τις ρευματικές γραμμές του ηλιακού ανέμου, επειδή το μαγνητικό πεδίο είναι παγωμένο στον ηλιακό άνεμο. Το παγωμένο μέσα στον ηλιακό άνεμο μαγνητικό πεδίο διατηρείται και κινείται προς τα έξω, μεταφερόμενο από τον ηλιακό άνεμο.

Αν ο Ήλιος δεν περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά του, θα είχαμε μαγνητικό πεδίο με σχεδόν ευθείες δυναμικές γραμμές μέσα στην ηλιόσφαιρα που θα εκτείνονταν ακτινικά προς τα έξω. Σε μη περιστρεφόμενο Ήλιο οι ρευματικές γραμμές του ηλιακού ανέμου θα ήσαν ευθείες ακτινικές. Ο Ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του σε 25 περίπου ημέρες σε σχέση με τα άστρα (αστρική περίοδος) ή 27 ημέρες σε σχέση με ένα παρατηρητή στην Γη (συνοδική περίοδος), η οποία είναι μεγαλύτερη, επειδή η Γη περιφέρεται συγχρόνως γύρω από τον Ήλιο σε 365,25 ημέρες (έτος). Λόγω της περιστροφής του Ηλίου γύρω από τον εαυτό του μαζί με αυτόν περιστρέφονται τα σημεία από όπου πηγάζει ο ηλιακός άνεμος. Η περιστροφή του γενικού μαγνητικού πεδίου του Ηλίου μαζί με αυτόν είναι καταλυτική για την γενική μορφή των δυναμικών γραμμών του ηλιακού ανέμου, που παίρνουν μορφή ελίκων του Αρχιμήδη, ακολουθώντας τις γραμμές ροής του ρευστού μέσα στο οποίο είναι παγωμένο το μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα του ηλίου στην υπεριώδη ακτινοβολία. Φαίνονται καθαρά οι στεμματικές οπές (περιοχές με «ανοικτές δυναμικές γραμμές» που φαίνονται μαύρες στο υπεριώδες και τις ακτίνες X) από τις οποίες πηγάζει ο ταχύς ηλιακός άνεμος. Διαστημόπλοιο SDO, NASA <https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

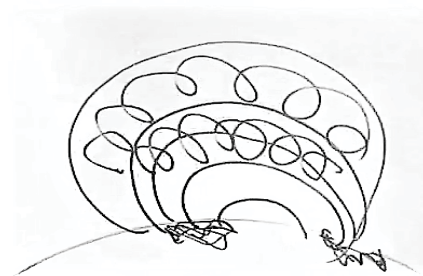
Γεωμαγνητικές καταιγίδες και υποκαταιγίδες

Μια υποκαταιγίδα, ή μαγνητοσφαιρική υποκαταιγίδα, είναι βραχεία διαταραχή του μαγνητικού πεδίου της Γης και της μαγνητόσφαιρας της Γης. Προκαλείται από ένα ταχύ ρεύμα ηλιακού ανέμου που δημιουργεί τις συνθήκες για συσσώρευση και στην συνέχεια απελευθέρωση ενέργειας από την μαγνητοουρά της Γης, την ουρά μαγνητόσφαιρας. Η ενέργεια εγχέεται και στην ιονόσφαιρα γύρω από τον γεωμαγνητικό πόλο στον Καναδά και την Ανταρκτική, με σύγχρονη εμφάνιση σέλαος. Τα ίδια φαινόμενα εμφανίζονται σχεδόν κατοπτρικά στον βόρειο και νότιο μαγνητικό πόλο. Οι υποκαταιγίδες δημιουργούνται από έκλυση ενέργειας στην διάρκεια του φαινομένου της μαγνητικής επανασύνδεσης, η οποία συμβαίνει συχνότατα, όταν το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου έχει νότια συνιστώσα για τουλάχιστον μία ώρα και τότε μπορεί να συνδεθεί με το μαγνητικό πεδίο

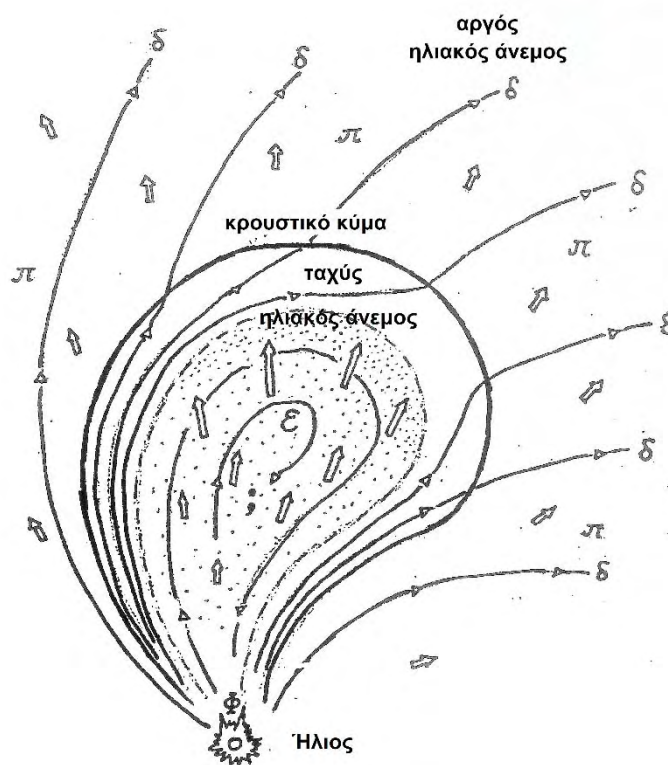
της Γης δημιουργώντας εκρηκτικά φαινόμενα. Συμβαίνει και με άλλους προσανατολισμούς του διαπλανητικού πεδίου που επιτρέπουν μαγνητική επανασύνδεση, όπως πρώτος αντιλήφθηκε ο Jim Dungey. Παρόμοια φαινόμενα, έντονες γεωμαγνητικές καταιγίδες, κοσμικές καταιγίδες και συχνά εντονότερα συμβαίνουν όταν το ταχύ πλάσμα από ορισμένα εκρηκτικά φαινόμενα.

Οι στεμματικές οπές, πηγές ταχέος ηλιακού ανέμου

Υποστήριξαν ακόμη, ότι από κάποιες μόνιμες πηγές στην επιφάνεια του Ηλίου βγαίνουν τα ταχεία ρεύματα ιονισμένου υλικού, που επίσης προκαλούν γεωμαγνητικές καταιγίδες κάθε 27 ημέρες, δηλαδή με περίοδο ίση προς την συνοδική περίοδο του Ηλίου, δηλαδή την περίοδο περιστροφής του Ηλίου σε σχέση με την Γη. Αυτές οι πηγές ταχέος ηλιακού ανέμου αποδείχθηκε ότι είναι οι στεμματικές οπές, περιοχές με ανοικτά μαγνητικά πεδία που υπάρχουν σχεδόν πάντοτε στον Ήλιο και κυριαρχούν στην διαμόρφωση του διαπλανητικού χώρου.



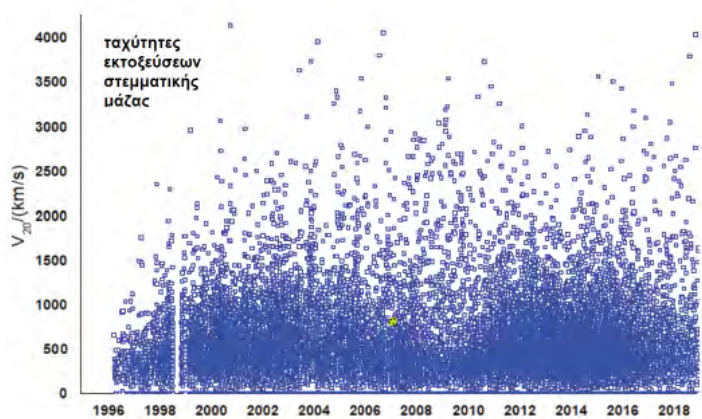
Τα μαγνητικά πεδία σε ένα ζεύγος κηλίδων, σε ένα κέντρο δράσης του Ηλίου, δημιουργούν μαγνητική φιάλη που παγιδεύει και επιταχύνει σωματία και όταν οδηγηθεί σε μια αστάθεια συμβαίνει ένα εκρηκτικό φαινόμενο σε συνδυασμό με μαγνητική επανασύνδεση.



Η εκτόξευση του στεμματικού υλικού από τον Ήλιο, όπως πρότεινε ο Thomas Gold το 1959.

*Διαστημικός καιρός: Ηλιακές εκρήξεις, εκλάμψεις,
εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού και γεωμαγνητικές καταιγίδες*

Οι συνθήκες στον διαπλανητικό χώρο ονομάζονται *διαστημικός καιρός*: δηλαδή, διαστημικόν καιρό ονομάζουμε τις συνθήκες του πλάσματος που επικρατούν στον διαπλανητικό χώρο κυρίως γύρω από την Γη, στο γεωδιάστημα, αλλά και γενικότερα από τον Ήλιο μέχρι την Γη. Αναφερόμαστε μερικές φορές στον διαστημικό καιρό στον Άρη ή την Αφροδίτη κλπ. Η πρόβλεψη του διαστημικού καιρού είναι κεφαλαιώδους σημασίας για πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες. Κοσμική καταιγίδα ονομάζεται ο πολύ έντονος διαστημικός καιρός. Ειδικότερα ηλιακή καταιγίδα ονομάζονται οι συνδυασμένες μεταβολές του διαστημικού καιρού που συμβαίνουν, όταν έχουμε ισχυρές ηλιακές εκρήξεις, εκλάμψεις και εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού.



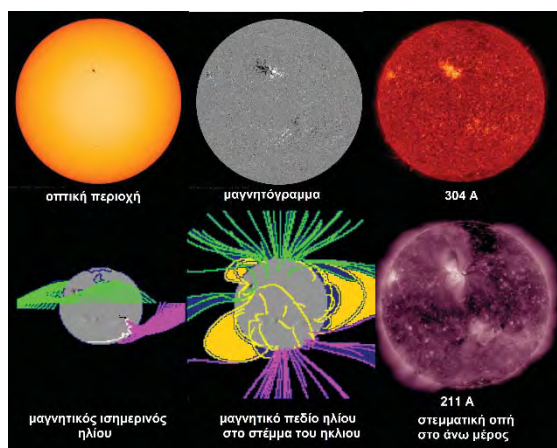
Οι ταχύτητες όλων των
εκτοξεύσεων στεμματικού υλικού
στην διάρκεια δύο ηλιακών κύκλων.

Ο έντονος διαστημικός καιρός, οι διαστημικές καταιγίδες, επηρεάζονται διαστημόπλοια, ιδιαιτέρως τα ηλεκτρονικά συστήματα διαστημικών σκαφών, την τροχιά του διαστημικού σκάφους, τους αστροναύτες που είναι στο διάστημα, τα συστήματα εδάφους, τα διαστημικά σήματα που

στέλνουν τα διαστημόπλοια, τα ραδιοφωνικά σήματα, τις τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, τα πληρώματα και τους επιβάτες των αεροπλάνων, την εμπορική αεροπορία, τα ηλεκτρικά πεδία που προκαλούνται στο έδαφος, τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, την γεωφυσική εξερεύνηση και παραγωγή υδρογονανθράκων και τον καιρό στην Γη. Σε ακραίες καταστάσεις καταστρέφουν διαστημόπλοια, διαταράσσουν τις τηλεπικοινωνίες και επηρεάζουν την υγεία. Χαρακτηριστικό είναι, ότι οι ιατροφιλόσοφοι μέχρι τον 19^ο αιώνα προβαίνουν σε αφαιμάξεις για να αποφύγουν καρδιακά επεισόδια γύρω από τις ισημερίες, διότι τότε συμβαίνουν περισσότερες γεωμαγνητικές καταιγίδες. Είναι απίστευτο, ότι οι άνθρωποι στην αρχαιότητα είχαν αντιληφθεί σε κάποιο βαθμό την πιθανή επίδραση του διαστημικού καιρού. Όταν αναμένονται κοσμικές καταιγίδες τα αεροπλάνα που πηγαίνουν από Αθήνα στην Καλιφόρνια, που κανονικά πηγαίνουν ακολουθώντας την συντομότερη διαδρομή, δηλαδή τον μέγιστο

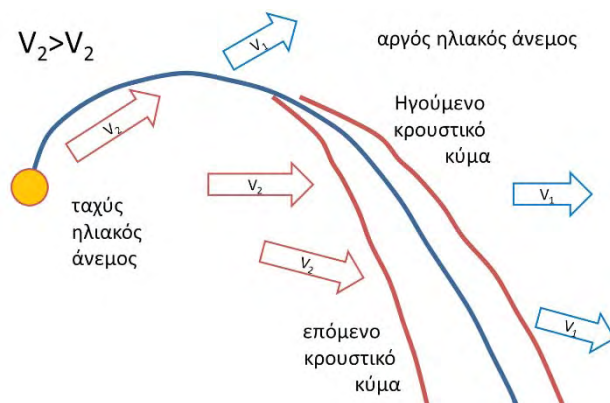
κύκλο της Γης που ενώνει δυο πόλεις και περνάει κοντά στον μαγνητικό πόλο της Γης, αλλάζουν σε νοτιότερη διαδρομή για να μην επηρεαστούν οι επιβάτες και το πλήρωμα, κυρίως οι νέες γυναίκες, από την αυξημένη κοσμική ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας. Υπάρχει φροντίδα να μην κάνουν συχνά αυτήν την διαδρομή οι νέες γυναίκες των πληρωμάτων.

Ο Ήλιος που είναι η πηγή του ηλιακού ανέμου περιστρέφεται και οι ρευματικές γραμμές, δηλαδή τα ρεύματα του ηλιακού ανέμου διαμορφώνονται ως έλικες του Αρχιμήδη, όπως φαίνεται στα σχήματα. Ο ηλιακός άνεμος εκτονώνεται και μεταφέρει το μαγνητικό πεδίο που υπάρχει στις περιοχές που δημιουργείται πάνω στον Ήλιο. Η ταχύτητα και η πυκνότητα, το μαγνητικό πεδίο και η θερμοκρασία κάθε πηγής του ηλιακού ανέμου είναι διαφορετική, με μικρές ή και μεγάλες διαφορές. Όλες αυτές οι ελαφρώς ή και πολύ διαφορετικές πηγές του ηλιακού ανέμου διαμορφώνουν τις συνθήκες στο διαπλανητικό μέσο, στο διάστημα, όπως το λέμε συνήθως. Υπάρχουν ταχεία ρεύματα του ηλιακού ανέμου που συνήθως είναι δυο με τέσσερα σε κάθε περιστροφή του Ηλίου που γίνεται σε 27 περίπου ημέρες, για ένα παρατηρητή στην Γη μας. Κάθε φορά που ένα τέτοιο ταχύ ρεύμα περνάει από την Γη ή από ένα διαστημόπλοιο παρατηρείται μια απότομη αύξηση της ταχύτητας. Τα ρεύματα αυτά προκύπτουν ως αποτέλεσμα της κλίσης του μαγνητικού διπόλου του Ηλίου ως προς τον άξονα περιστροφής, ή πιο σωστά από την θέση και κλίση του μαγνητικού ισημερινού του Ηλίου. Ο μαγνητικός ισημερινός του Ηλίου δεν είναι ένας μέγιστος κύκλος, αλλά η γραμμή πάνω στον Ηλιο που χωρίζει βόρεια από νότια μαγνητικά πεδία.



Τρεις εικόνες του Ηλίου όπου διακρίνουμε δυο-τρία κέντρα δράσης και μια στεμματική οπή κοντά στον βόρειο πόλο στην κάτω δεξιά εικόνα. Κάτω αριστερά απεικονίζεται ο μαγνητικός ισημερινός του ηλίου, κάτω στο μέσο το υπολογισμένο μαγνητικό πεδίο σε τρεις διαστάσεις, το οποίο βασίζεται στο μαγνητόγραμμα όπου είναι πάνω το μέσο. Εικόνες του Ηλίου από το διαστημόπλοιο SDO/NASA και τα δυο σχήματα από www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/

Συνήθως η αύξηση της ταχύτητας από το ένα ρεύμα του ηλιακού ανέμου στο άλλο είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα των μαγνητοϋδροδυναμικών κυμάτων και δημιουργείται ένα κρουστικό κύμα μπροστά από το ταχύ ρεύμα και ένα κρουστικό κύμα μετά από το ταχύ ρεύμα που αντίστοιχα ονομάζονται ηγούμενο και επόμενο κρουστικό κύμα.



Ένα ταχύ ρεύμα συγκρούεται με προπορευόμενο αργό ρεύμα και δημιουργούνται δυο κρουστικά κυματα εκατέρωθεν της διαχωριστικής επιφάνειας.

Ένα τέτοιο ρεύμα δημιουργεί μια *περιστρεφόμενη περιοχή αλληλεπίδρασης*, η οποία δημιουργεί μια μαγνητική υποκαταιγίδα, η οποία είναι διαταραχή του γεωμαγνητικού πεδίου. Το κρουστικό κύμα χαρακτηρίζεται από την αύξηση της ταχύτητας, μαγνητικού πεδίου, πυκνότητας και θερμοκρασίας. Λόγω της συμπίεσης αυξάνει η ένταση του μαγνητικού πεδίου, συγχρόνως αλλάζει η κατεύθυνσή του, αυξάνει η πυκνότητα του ηλιακού ανέμου και η θερμοκρασία. Γύρω από το κρουστικό κύμα έχουμε αύξηση της κοσμικής ακτινοβολίας σε ορισμένες ενέργειες. Αυξάνει η ένταση εκείνων των σωματιδίων που έχουν κατάλληλη

ταχύτητα ανά φορτίο (δυσκαμψία) ώστε να παγιδευτούν γύρω από το κρουστικό κύμα και να επιταχυνθούν από την αλληλεπίδρασή των σωματιδίων με το κρουστικό κύμα.



Ο Γαλλο-ελληνικός ραδιοφασματογράφος *ARTEMIS V Jean-Louis Steinberg* λειτουργεί στις Θερμοπύλες από το 1995· καταγράφει 100 φάσματα του ηλίου σε 128 συχνότητες 250–400 MHz και 10 φορές το δευτερόλεπτο σε 630 συχνότητες μεταξύ 20–650 MHz. Είναι συνεργασία ΕΚΠΑ, Observatoire de Paris, Meudon, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Όταν η Γη περνάει μέσα από την περιστρεφόμενη περιοχή αλληλεπίδρασης και εφόσον το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο έχει νότια συνιστώσα για περισσότερο από μια ώρα, δημιουργείται μια μαγνητική υποκαταιγίδα. Η νότια συνιστώσα επιτρέπει σύνδεση του γεωμαγνητικού πεδίου και το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο και αυτό προκαλεί την διαταραχή στην Γη.

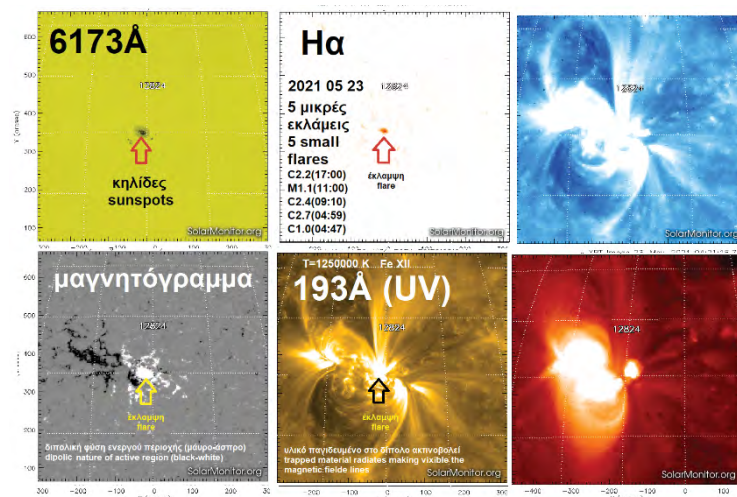
Παρόμοια φαινόμενα συμβαίνουν με τις ηλιακές εκρήξεις που ονομάζουμε εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού, όποτε το υλικό έρχεται προς την Γη. Οι έντονες δημιουργούν κρουστικό κύμα (όπως φαίνεται στην εικόνα) με συνέπεια γεωμαγνητικές διαταραχές, που συνοδεύονται λόγω της ηλιακής έκρηξης με μεταβολές στην ιονόσφαιρα, με ενεργητικά σωμάτια που επηρεάζουν διαστημόπλοια, τηλεπικοινωνίες, επιβάτες και πληρώματα σε διαδρομές κοντά στους μαγνητικούς πόλους της Γης (Καναδά και ΗΠΑ),

Ο Ήλιος αλλάζει από ώρα σε ώρα και από έτος σε έτος, με εμφανείς μεταβολές στις κηλίδες του. Στις ενεργές περιοχές που αποτελούνται συνήθως από ζεύγη κηλίδων με αντίθετη μαγνητική πολικότητα συσσωρεύουν ενέργεια και συμβαίνουν διάφορα εκρηκτικά φαινόμενα. Οι εκλάμψεις αποτελούν εκρηκτικά φαινόμενα με έντονη έκλυση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε όλα τα μήκη κύματος, σε ραδιοκύματα, στην ορατή περιοχή, όπως και των ακτίνων Χ, αλλά και ακτίνων γ σε πολύ έντονες εκλάμψεις που συνοδεύονται και από εκπομπή πρωτονίων, σωματιδίων α και βαρύτερων ιόντων, όπως Fe πολλαπλά ιονισμένου, αλλά και ηλεκτρονίων με τεράστιες ενέργειες. Επίσης συμβαίνουν και άλλα εκρηκτικά ηλιακά φαινόμενα, όπως είναι οι εκρηκτικές προεξοχές, αλλά κυρίως οι εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού (coronal mass ejections, ή CME), οι οποίες κυριαρχούν στο πλάσμα του διαταραγμένου ηλιακού ανέμου και διαμορφώνουν τον διαστημικό καιρό δηλαδή τις συνθήκες που επικρατούν στο διαστημικό περιβάλλον της Γης και της ηλιόσφαιρας γενικότερα. Η μελέτη του διαστημικού καιρού και κυρίως η πρόβλεψή του είναι κεφαλαιώδους σημασίας, διότι μπορεί να επηρεάσει δραστικά την υγεία πληρωμάτων αεροσκαφών που περνούν από τους μαγνητικούς πόλους της Γης και μπορεί να φονεύσει αστροναύτες και να καταστρέψει διαστημόπλοια. Επηρεάζει και την υγεία όλων μας.

Η επίδραση του Ηλίου στο περιβάλλον διάστημα και την Γη έγινε αντιληπτή τον 19^ο αιώνα. Ήδη από το 1741 ο A. Celsius διαπιστώνει ότι μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου συνυπάρχουν με εμφάνιση σέλαος. Το 1859 οι ερασιτέχνες αστρονόμοι Richard Carrington και Richard Hodgson κατέγραψαν την πρώτη έκλαμψη, η οποία συνοδεύτηκε με καταγραμμένη μεταβολή του γεωμαγνητικού πεδίου. Το 1882 ο B. Stewart προέβλεψε την ιονόσφαιρα και το 1892 ο G. Fitzgerald αντιλαμβάνεται την επίδραση

των ηλιακών κηλίδων στις γεωμαγνητικές καταιγίδες, ή πιο σωστά στις γεωμαγνητικές υποκαταιγίδες, δηλαδή έντονες διαταραχές του μαγνητικού πεδίου της Γης. Οι O. Lodge, O. Heaviside, H. Hertz, G. FitzGerald επιβεβαίωσαν τις θεωρίες για το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του James Clerk Maxwell από το 1870 μέχρι το 1890 με επιστέγαση τα πειράματα του Hertz που έδειξαν, ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό και άρχισαν οι τηλεπικοινωνίες, όπως τις ξέρουμε σήμερα. Ο K. Birkeland το 1896 μελετά την προέλευση του Βορείου Σέλαος και θεωρεί ότι το δημιουργούν φορτισμένα σωμάτια από τον Ήλιο, καθώς αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο της Γης και την ατμόσφαιρα. Βασίστηκε στους Faraday και Oersted, που έδειξαν την δημιουργία μαγνητικών πεδίων από ηλεκτρικά ρεύματα. Ο K. Birkeland υποστήριξε και πειραματικά, ότι το διάστημα είναι γεμάτο με ηλεκτρόνια και ιόντα που δημιουργούν και το σέλας. Ρίχνει δέσμη ηλεκτρονίων σε σφαιρικό μαγνήτη εν κενώ και διαπιστώνει ότι η δέσμη εστιάζει στους πόλους του σφαιρικού μαγνήτη που ακτινοβολεί γύρω από τους πόλους του. Μελετά την σχέση μαγνητικών καταιγίδων με τον Ήλιο. Εκτιμά ότι ενεργητικά ηλεκτρόνια εκτοξεύονται κατά καιρούς από ηλιακές κηλίδες και όταν κατευθύνονται προς την Γη, φθάνουν στις πολικές περιοχές της Γης και παράγεται το ορατό σέλας.

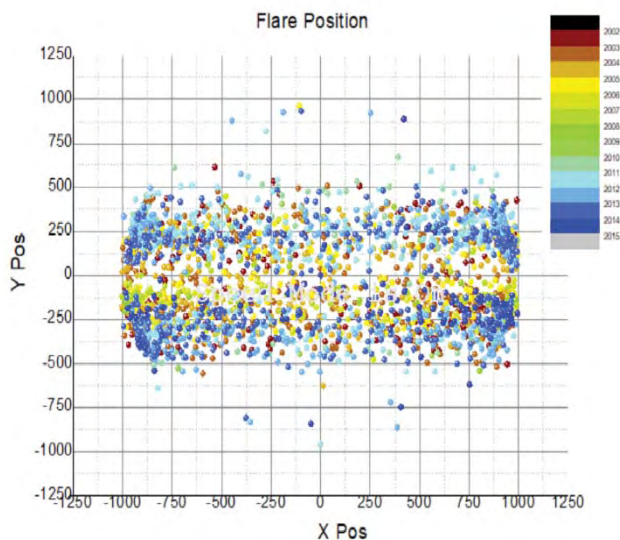
Το 1930 ο S. Chapman και ο V.C.A. Ferraro μελετούν γεωμαγνητικές καταιγίδες και ταυτόχρονες διαταραχές διάδοσης ραδιοφωνικών εκπομπών και στις τηλεπικοινωνίες, που συμβαίνουν μια-δύο μέρες μετά από μεγάλες εκλάμψεις ή εκπομπές στεμματικού υλικού (εκρηκτικές προεξοχές τις έλεγαν) και αντιλαμβάνονται, ότι ένα νέφος από ιόντα εκτοξεύεται από τον Ήλιο με ταχύτητα 1.000–2.000 km/s και φτάνει στην Γη επηρεάζοντάς την. Η κατάσταση του διαπλανητικού χώρου εξαρτάται αποκλειστικά από την δραστηριότητα του Ήλιου. Το γενικό μαγνητικό πεδίο δημιουργεί σε κάποιες περιοχές τις στεμματικές οπές, οι οποίες είναι οι πηγές του ταχέος ηλιακού ανέμου που προκαλεί κρουστικά κύματα, τα οποία δημιουργούν τις γεωμαγνητικές καταιγίδες. Κάθε έκλαμψη του Ηλίου και κάθε εκτόξευση στεμματικού υλικού επηρεάζει τον διαπλανητικό χώρο και τον διαστημικό καιρό και φυσικά και την Γη, αν βρεθεί στο διάβα του υλικού που εκτοξεύεται. Οι εκλάμψεις είναι συχνές όταν υπάρχουν κηλίδες και κέντρα δράσης του Ηλίου. Τα ταχέα αυτά μαγνητισμένα νέφη φτάνουν στην Γη, πιέζουν το μαγνητικό πεδίο, το παραμορφώνουν και κάτω από ορισμένες συνθήκες (συνήθως όταν έχουν νότια προσανατολισμένο διαπλανητικό πεδίο) προκαλούν απότομες και έντονες μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο της Γης, τις γεωμαγνητικές υποκαταιγίδες.



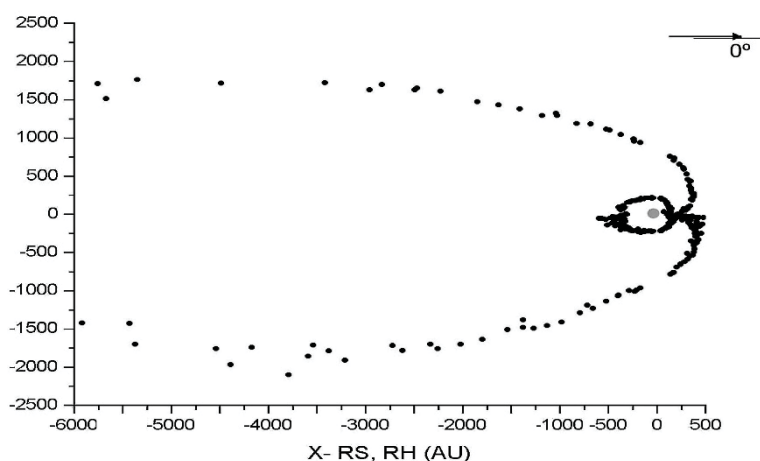
Μια μικρή κηλίδα που σε μια ημέρα δημιουργήσε πέντε μικρές εκλάμψεις μοιάζει ασήμαντη. Ωστόσο στο υπεριώδες και τις ακτίνες X η ενεργός περιοχή, το κέντρο δράσης δείχνει ότι είναι πράγματι ενεργό. Εικόνες από το διαστημόπλοιο SDO/NASA, www.lmsal.com/solarsoft/latest_events.

Μια κηλίδα που μοιάζει ασήμαντη στην οπτική περιοχή βρίσκεται σε ένα κέντρο δράσης που έχει σαφέστατο διπολικό μαγνητικό χαρακτήρα και όταν τα πεδία που σχηματίζουν μια τεράστια μαγνητική παγίδα όπου συσσωρεύονται πολλά μεγάλης ενέργειας σωμάτια. Το κέντρο δράσης, η κηλίδα, οδηγείται σε αστάθεια, συμβαίνει το φαινόμενο της μαγνητικής επανασύνδεσης και σε έκρηξη. Η έκλυση ενέργειας οδηγεί σε ορισμένες περιπτώσεις σε έντονα φωτεινά φαινόμενα στην γραμμή υδρογόνου H_α , στην οπτική περιοχή και σε όλα τα μήκη κύματος από ραδιοφωνικά μέχρι ακτίνες X και σε πολύ έντονα φαινόμενα σε ακτίνες γ. Τα σωμάτια, το πλάσμα ακτινοβολούν και σε κάποια μήκη κύματος απεικονίζουν τα μαγνητικά πεδία γύρω από την περιοχή της έκλυσης της ενέργειας. Συχνά και ανεξαρτήτως αν συμβεί έκλαμψη ή όχι, συμβαίνουν οι εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού που ουσιαστικά διαμορφώνουν τον διαστημικό καιρό σε συνδυασμό με τα ταχεία ρεύματα του ηλιακού ανέμου που πηγάζουν από τις στεμματικές οπές.

Οι εκλάμψεις κατανέμονται σε ηλιογραφικά πλάτη του Ηλίου μέχρι τις 40 μοίρες εκατέρωθεν του ισημερινού.

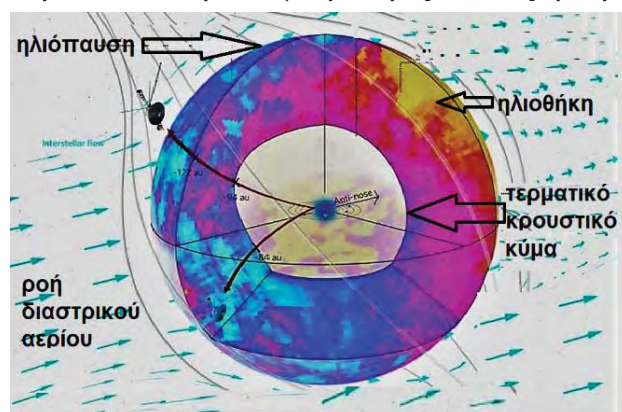


Τα εκρηκτικά φαινόμενα εμφανίζονται στα κέντρα δράσης που η θέση τους φαίνεται από την θέση των κηλίδων. Οι κηλίδες εμφανίζονται στην αρχή κάθε ενδεκαετούς ηλιακού κύκλου σε σχετικά μεγάλα ηλιογραφικά πλάτη γύρω στις 40° . Βαθμιαία σε όλη την διάρκεια του ηλιακού κύκλου οι κηλίδες, όπως και τα εκρηκτικά φαινόμενα, μετατοπίζονται προς τον ισημερινό του Ηλίου.



Η ηλιόσφαιρα

Οι μαγνητόσφαιρες δημιουργούνται γύρω από αστρονομικά αντικείμενα που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους. Συνεπώς δεν αναμένεται να τις έχουν μόνον οι πλανήτες, οι κομήτες και κάποιοι δορυφόροι. Ο Ήλιος δεν αποτελεί εξαίρεση και έχει γύρω του την ηλιόσφαιρα, η οποία είναι τεράστια. Η ηλιόσφαιρα ορίζεται ως η περιοχή που σχηματίζει και επηρεάζει



Dialynas, K., Krimigis, S., Mitchell, D. *et al.* The bubble-like shape of the heliosphere observed by Voyager and Cassini. *Nat Astron* 1, 0115 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41550-017-0115>

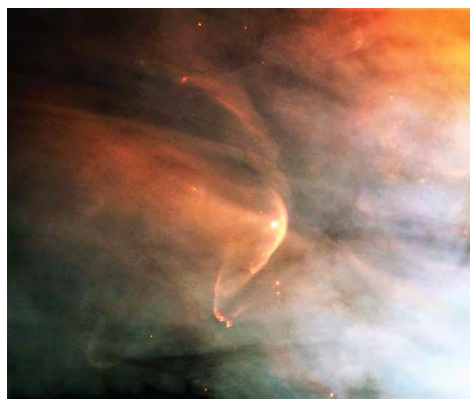


ο ηλιακός άνεμος γύρω από τον Ήλιο, απωθώντας το διαστρικό αέριο του Γαλαξία, με το οποίο βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία. Η ηλιόσφαιρα είναι τεράστια. Η έκταση, η μορφή και η δομή της μεταβάλλονται με τις συνθήκες του ηλιακού ανέμου, ο οποίος ακολουθεί την ηλιακή 22ετή δραστηριότητα. Μέσα σε αυτήν κινείται η Γη, η Σελήνη, οι άλλοι πλανήτες με τους δορυφόρους τους και ένα μικρό μέρος των κομητών.

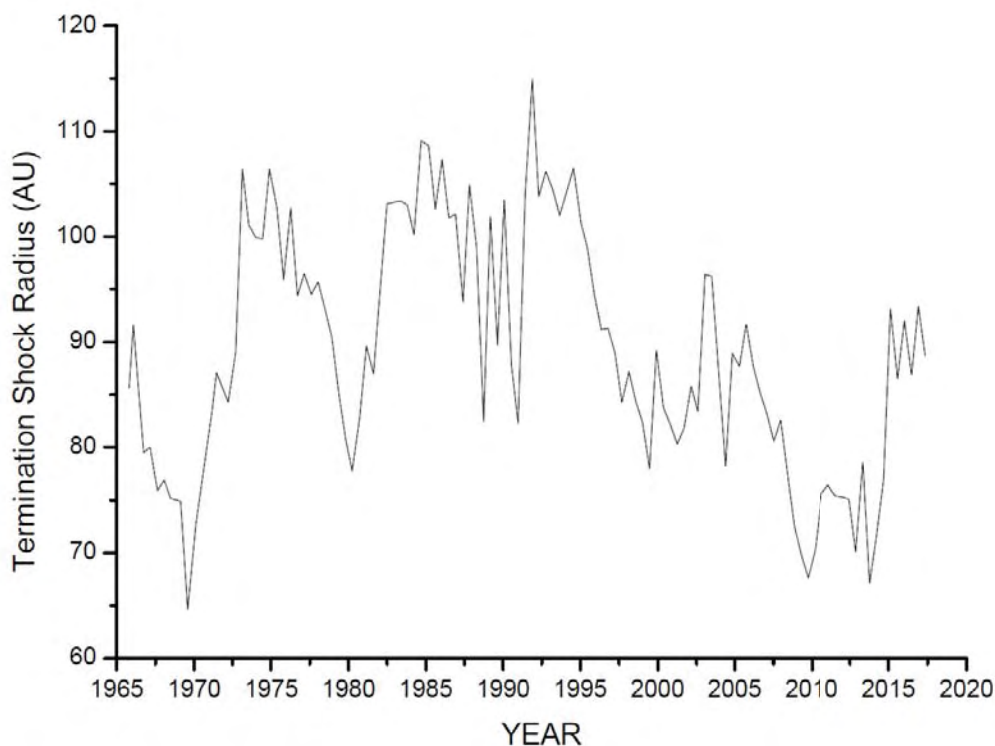
Το γενικό μαγνητικό πεδίο του Ηλίου παίζει ασφαλώς καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του διαπλανητικού πεδίου και όλης της ηλιόσφαιρας.

Η γενική μορφή του ηλιακού μαγνητικού πεδίου ουσιαστικά είναι αυτή ενός μαγνητικού διπόλου.

Η έκταση και η μορφή της Ηλιόσφαιρας εξαρτάται από την πίεση του ηλιακού ανέμου και το μαγνητικό πεδίο τα οποία μεταβάλλονται με την 11ετή και 22ετή περιοδικότητα του Ηλίου. Η ομάδα μας πρώτη παγκοσμίως μελέτησε τις χρονικές μεταβολές της έκτασης της ηλιόσφαιρας και των ιδιοτήτων της.



Η αστροσφαίρα του άστρου LL του Ωρώνα. Διακρίνεται το κρουστικό κύμα, πιθανώς έχει ομοιότητες με την ηλιόσφαιρα. NASA, ESA, Hubble Space Telescope.

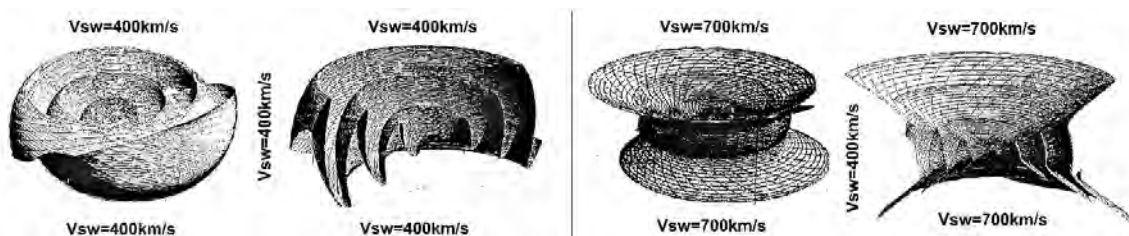


Το δίπολο του Ηλίου είναι σχετικά ασθενές, αν συγκριθεί με το μαγνητικό πεδίο των κηλίδων του. Τα πεδία των κηλίδων του Ηλίου είναι πολύ ισχυρά, αλλά επειδή τελικά σχηματίζουν πολύπολα δεν επεκτείνονται πολύ μακριά από τον Ήλιο. Είναι γνωστό ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου ενός πολυπόλου με N πόλους φθίνει με την απόσταση, με την απόσταση υψωμένη σε δύναμη $-3N$. Αντιθέτως, το γενικό μαγνητικό διπολικό πεδίο του Ηλίου στους πόλους του είναι ασθενές, μόλις μεγαλύτερο από αυτό της Γης. Το γενικό μαγνητικό πεδίο του Ηλίου είναι ένα ασθενές δίπολο, του οποίου η πολικότητα εναλλάσσεται κάθε ένδεκα έτη, ενώ συγχρόνως η μαγνητική ροπή και κλίση του διπόλου αλλάζει στην διάρκεια της 11ετούς περιόδου της δραστηριότητας του Ηλίου που γίνεται 22ετής, λόγω της

αλλαγής της μαγνητικής πολικότητας του Ηλίου. Η ένταση και η μορφή των μαγνητικών πεδίων στον Ήλιο μεταβάλλεται συνεχώς με τον χρόνο, ακολουθώντας βασικά την χρονική μεταβολή των κηλίδων, που αλλάζουν σε αριθμό, θέση και έκταση με περιοδικότητα 11 ετών.

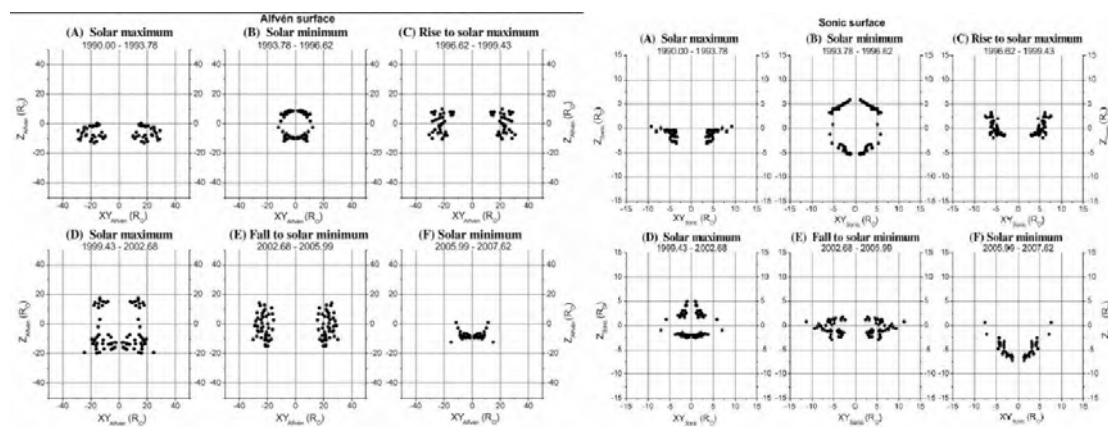
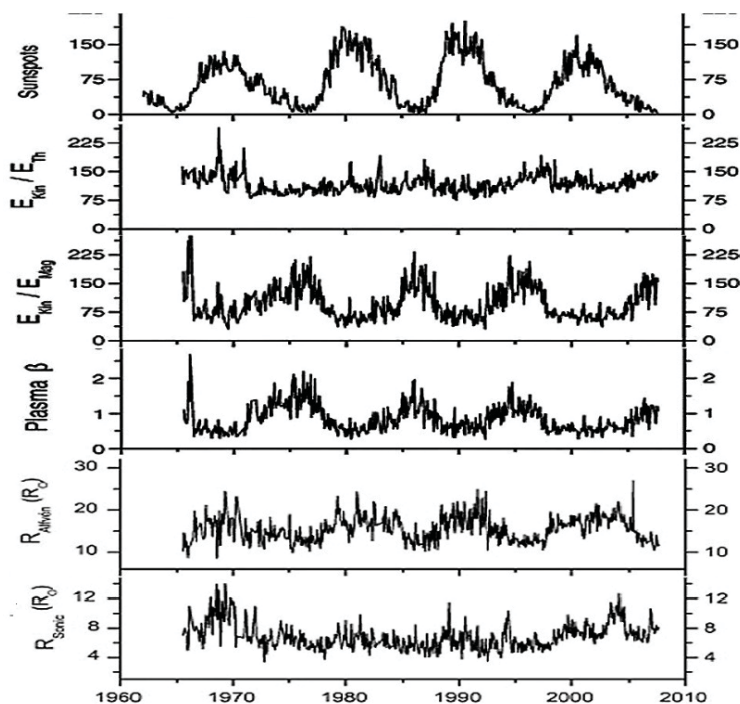
Η μορφή και δομή των διαπλανητικών πεδίων της ηλιόσφαιρας σε μεγάλη κλίμακα εξαρτάται και από τον προσανατολισμό του μαγνητικού διπόλου του Ηλίου. Η αναστροφή του πεδίου διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Στην διάρκεια της αναστροφής του διπόλου το μαγνητικό πεδίο είναι πολύπλοκο, ουσιαστικά ένα πολύπολο. Θυμίζουμε ότι οι κηλίδες εμφανίζονται ως μαγνητικά ζεύγη, δηλαδή κάθε ζεύγος είναι ένα περίεργο μεταβαλλόμενο δίπολο. Η εναλλαγή του διπόλου του Ηλίου μοιάζει λίγο με της Γης, με κύρια διαφορά το βραχύ της περιόδου και την σχεδόν σταθερή περιοδικότητα των 11 ετών.

Κάθε ημισφαίριο του Ηλίου έχει διαφορετική μαγνητική πολικότητα. Τα μαγνητικά πεδία που προέρχονται από κάθε μια από τις δυο στεμματικές οπές έχουν αντίθετη πολικότητα και κυριαρχούν σε ένα ημισφαίριο, γεμίζοντάς το με ηλιακόν άνεμο με μια κυρίαρχη μαγνητική πολικότητα. Ανάμεσα στα δυο ρεύματα με αντίθετη πολικότητα υπάρχει μια διαχωριστική επιφάνεια που ονομάζεται φύλλο ρεύματος της ηλιόσφαιρας, διότι αφού το μαγνητικό πεδίο αλλάζει απότομα, υπάρχει ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Σε μεγάλης διάρκειας φάσεις του 22ετούς κύκλου του Ηλίου ο ηλιακός άνεμος προέρχεται από δυο μεγάλες στεμματικές οπές που κυριαρχούν και οι οποίες βρίσκονται στους δυο μαγνητικούς πόλους του Ηλίου, οι οποίοι στην διάρκεια του ελαχίστου της ηλιακής δραστηριότητας σχεδόν ταυτίζονται με τους πόλους περιστροφής του Ηλίου. Οι δυο αρχικά πολικές στεμματικές οπές μετατοπίζονται προς τον ισημερινό του Ηλίου καθώς το μαγνητικό δίπολο του Ηλίου αλλάζει πολικότητα, όπως σχεδόν ένα ταλαντευόμενο δίπολο.



Η ουδέτερη επιφάνεια είναι κυματιστή επειδή: (α) το μαγνητικό δίπολο έχει κλίση ως προς τον άξονα περιστροφής του Ηλίου· (β) ο Ήλιος περιστρέφεται· και (γ) επειδή ο μαγνητικός ισημερινός του Ηλίου δεν είναι μέγιστος κύκλος του Ηλίου, ούτε απλώς μια κλειστή καμπύλη, αλλά μια σχεδόν ακανόνιστη περιοχή. Η μορφή της ουδέτερης επιφάνειας φαίνεται στα σχήματα. Απεικονίζεται στα δυο αριστερά σχήματα η επιφάνεια

ρεύματος και η τομή της στην περίπτωση όπου όλη η ηλιόσφαιρα έχει ηλιακόν άνεμο με την ίδια ταχύτητα ($V_{sw}=400\text{km/s}$). Στα δυο σχήματα δεξιά απεικονίζεται η επιφάνεια ρεύματος και η τομή της στην περίπτωση που η ηλιόσφαιρα στον ισημερινό έχει ηλιακό άνεμο με συνήθη ταχύτητα ήρεμου ηλιακού ανέμου ($V_{sw}=400\text{km/s}$) και στους πόλους σχεδόν διπλάσια ταχύτητα ($V_{sw}=700\text{km/s}$).

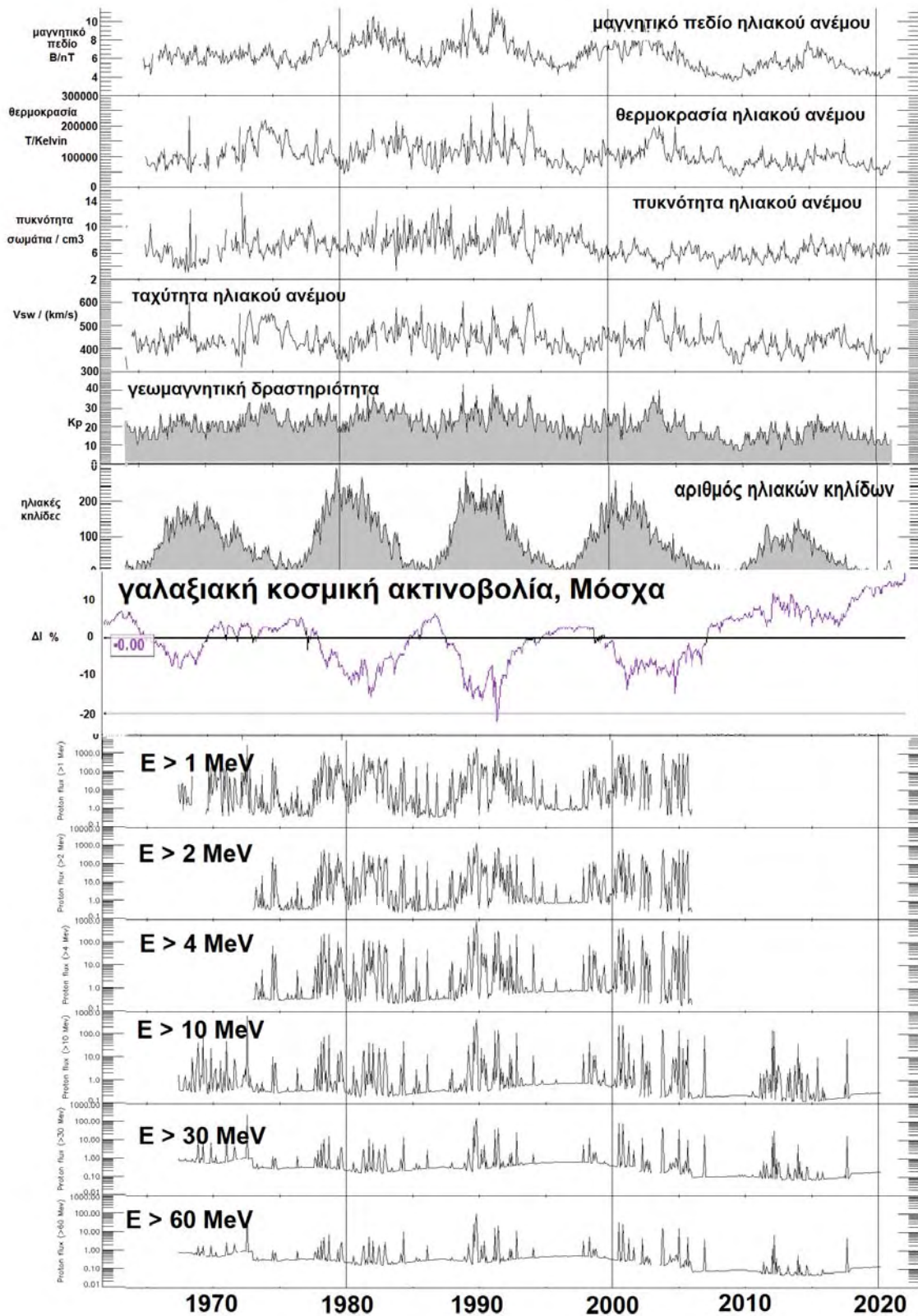


*Η ηχητική επιφάνεια
και η επιφάνεια Alfven του Ηλίου*

Η ομάδα μας πρώτη παγκοσμίως έθεσε το θέμα των επιφανειών που συνδέονται με την θέρμανση του στέμματος και την επιτάχυνση του ηλιακού ανέμου. Είναι οι επιφάνειες όπου η ταχύτητα του ηλιακού ανέμου αυξάνει και αντίστοιχα (α) γίνεται υπερηχητική, (β) υπερβαίνει την ταχύτητα των ταχέων μαγνητοϋδρομαγνητικών κυμάτων, και (γ) γίνεται υπεραλφβενική, δηλαδή υπερβαίνει την ταχύτητα Alfven. Είμαστε οι πρώτοι που μελετήσαμε και υπολογίσαμε την μορφή και την χρονική μεταβολή αυτών των επιφανειών. Διαπιστώσαμε ότι η μορφή και η έκταση μεταβάλλονται με τις συνθήκες στον Ήλιο, την 11ετή περίοδο δραστηριότητας και το ηλιογραφικό πλάτος, αλλά και το ηλιογραφικό μήκος, όταν εξετάζονται μικρές χρονικές περίοδοι.

Η μορφή και έκταση των τριών επιφανειών αλλάζει κυρίως με την φάση της δραστηριότητας του Ηλίου μέσα στον 11ετή κύκλο. Η μορφή όλων των οριακών επιφανειών αλλάζουν με την ηλιακή δραστηριότητα και είναι σχεδόν σφαιρικές στο ελάχιστό της, ενώ αποκλίνουν από την σφαιρική συμμετρία, όταν η δραστηριότητα είναι αυξημένη. Η μορφή είναι σχεδόν σφαιρική στην διάρκεια του ελαχίστου της ηλιακής δραστηριότητας και αλλάζουν σε ασύμμετρες σε περιόδους ηλιακής δραστηριότητας. Φυσικά η μορφή είναι πιο ομαλή όσο πιο μεγάλη είναι η χρονική περίοδος που λαμβάνονται οι μέσοι όροι των τιμών των παραμέτρων του ηλιακού ανέμου. Οι διαστάσεις των επιφανειών στις οποίες ο ηλιακός άνεμος υπερβαίνει την ταχύτητα Alfven και την ταχύτητα των ταχέων μαγνητοϋδρομαγνητικών κυμάτων ακολουθούν την ηλιακή δραστηριότητα. Αντιθέτως, η μέση ακτίνα της ηχητικής επιφάνειας δεν αλλάζει σημαντικά με τον χρόνο.

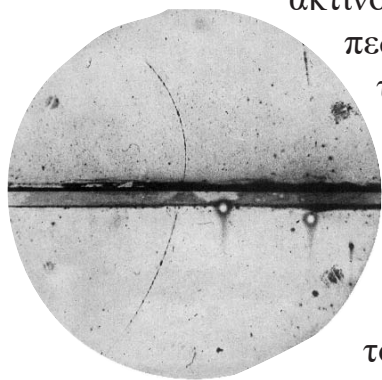
Οι μελέτες βασίστηκαν σε όλες τις μετρήσεις του ηλιακού ανέμου από το 1964 μέχρι σήμερα στο επίπεδο της εκλειπτικής, και σε μετρήσεις εκτός εκλειπτικής από την διαστημική αποστολή Οδυσσέας διάρκειας 17 ετών, και τις πρόσφατες μετρήσεις του διαστημοπλοίου Parker που αρχίζει και βγαίνει εκτός εκλειπτικής, ενώ συγχρόνως πλησιάζει διαρκώς τον Ήλιο.



Κοσμική ακτινοβολία

Η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από φορτισμένα σωμάτια, κυρίως πρωτόνια που έρχονται από τον Γαλαξία, τον Ήλιο και το διαπλανητικό διάστημα. Η κοσμική ακτινοβολία έπαιξε σημαντικόν ρόλο στην γέννηση της πυρηνικής φυσικής και της φυσικής διαστήματος, της φυσικής στοιχειωδών σωματιδίων και στην δημιουργία των επιταχυντών, όπως ο LHC του CERN.

Τα φορτισμένα σωμάτια της κοσμικής ακτινοβολίας επηρεάζονται δραστικά από τα μαγνητικά πεδία μέσα στα οποία κινούνται τόσο στον Γαλαξία, όσο και στην περιοχή του Ηλίου. Στην περιοχή του Ηλίου τα μαγνητικά πεδία που επηρεάζουν την διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας, των πρωτονίων, είναι τα μαγνητικά πεδία της ηλιόσφαιρας, της περιοχής γύρω από



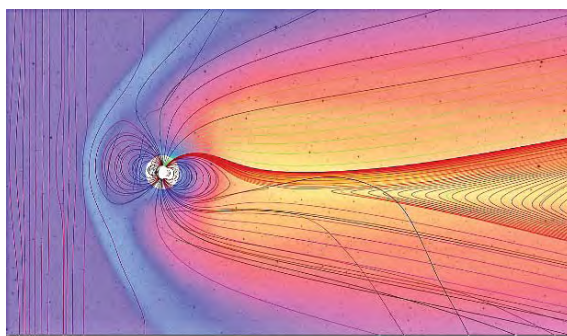
τον Ήλιο που δημιουργείται από τον ηλιακό άνεμο. Αυτός είναι μαγνητισμένο πλάσμα που πηγάζει συνεχώς από τον Ήλιο με τεράστια ταχύτητα, συνήθως γύρω στα 400 km/s κοντά στον ισημερινό του Ηλίου και σχεδόν διπλάσια καθώς απομακρυνόμαστε από τον ισημερινό του Ηλίου. Η ενεργειακή κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας, το φάσμα της δηλαδή, αλλά και οι

αυξομειώσεις της έντασης που ονομάζονται διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας εξαρτώνται από την πηγή, τον Ήλιο και τις εκρήξεις του, και τον Γαλαξία με τις δικές του πηγές, δηλαδή τους υπερκαινοφανείς και άλλες εκρήξεις, τους ενεργούς γαλαξίες και άλλα ενεργειακά φαινόμενα.

Η μελέτη, η κατανόηση της κοσμικής ακτινοβολίας εξαρτάται από την ηλιόσφαιρα, την μορφή και έκτασή της, το πόσο ισχυρά μαγνητικά πεδία έχει. Η μελέτη της κοσμικής ακτινοβολίας οδηγεί αναπόδραστα στην μελέτη του διαστήματος. Έτσι άρχισα και εγώ με την φυσική διαστήματος, ένα αντικείμενο άγνωστο στην Ελλάδα, διότι ήθελα να αντιληφθώ γιατί και πώς άλλαζε η ένταση και το φάσμα της κοσμικής ακτινοβολίας μετά από μια έκρηξη του Ηλίου, μετά από μια κοσμική καταιγίδα, ή μετά από την διέλευση ενός ταχέως ρεύματος του ηλιακού ανέμου. Έπρεπε να κατανοήσουμε την διαμόρφωση της κοσμικής ακτινοβολίας σε χρονικές κλίμακες ημερών αλλά και δεκαετιών. Έτσι η λεπτομερής μελέτη του διαπλανητικού χώρου ήταν τελείως απαραίτητη.

Η μελέτη της κοσμικής ακτινοβολίας ουσιαστικά αρχίζει με την ανακάλυψη της εξωγήινης προέλευσής της που είχε ανακαλύψει ο αυστριακός φυσικός Victor Hess το 1911–1912 με πτήσεις σε αερόστατα. Βαθμιαία αντιληφθήκαμε ότι η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται κυρίως

από πρωτόνια και φωτόνια μεγάλης ενεργείας, τα οποία έρχονται από τον Γαλαξία μας ή και έξω από αυτόν. Χαρακτηριστικό είναι, ότι κάθε λεπτό ένα σωματίο της κοσμικής ακτινοβολίας διαπερνά κάθε τετραγωνικό εκατοστό του σώματός μας. Το 1942 ο Scot E. Forbush κατέγραψε ηλιακής

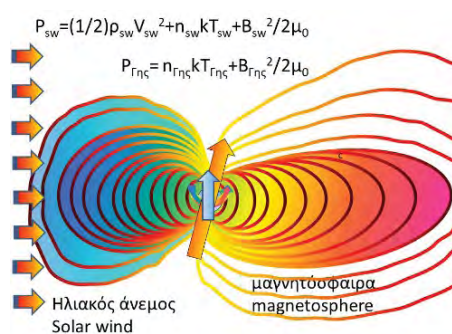


Η μαγνητόσφαιρα της Γης. NASA's Scientific Visualization Studio

προέλευσης ενεργητικά πρωτόνια, με κινητική ενέργεια μεγαλύτερη από 6 GeV, τα οποία εκτίμησε ότι προέρχονταν από μία σειρά ισχυρών εκλάμψεων, δηλαδή τεραστίων εκρήξεων στον Ήλιο, που έγιναν Μάρτη–Απρίλη 1942. Αυτά τα μεγάλης ενέργειας σωματίδια δεν ανήκουν στον πληθυσμό του πλάσματος, δηλαδή των ιονισμένων νεφών (που όπως πίστευαν τότε εξέπεμπε ο Ήλιος κάτω από ορισμένες συνθήκες, όπως λ.χ. μεγάλες εκλάμψεις) που προκαλούν τις γεωμαγνητικές διαταραχές, δηλαδή μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της Γης. Τα μεγάλης ενέργειας σωματίδια αποτελούν πληθυσμό που ανήκει στην κοσμική ακτινοβολία και ονομάζονται ακριβέστερα ηλιακά ενεργητικά σωματίδια, επειδή προέρχονται από τον Ήλιο και όχι από τον Γαλαξία. Αποτελούνται κατά κύριον λόγο από πρωτόνια (95%), αλλά και άλλους βαρύτερους πυρήνες που επιταχύνθηκαν κατά την βίαιη έκρηξη των εκλάμψεων ή άλλων εκρηκτικών ηλιακών φαινομένων, όπως είναι οι εκρηκτικές προεξοχές, αλλά κυρίως οι εκτοξεύσεις στεμματικού υλικού (coronal mass ejections, CME), όπως διαπιστώσαμε κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών.

Πολύ σημαντική πρόοδος για την καλύτερη κατανόηση του διαπλανητικού διαστήματος έγινε από τους Scot Forbush, John Simpson και Thomas Gold, στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τις χρονικές και ενεργειακές μεταβολές της κοσμικής ακτινοβολίας ως αποτέλεσμα μεταβολών του διαστημικού καιρού, των εκρηκτικών φαινομένων του Ηλίου και της έκτασης και δομής της ηλιόσφαιρας.

Οι μελέτες της διαμόρφωσης της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή οι χρονικές και ενεργειακές μεταβολές της έδειξαν ότι αυτή επηρεάζεται από νέφη φορτισμένων σωματίων, από ταχύ έντονα μαγνητισμένο πλάσμα που εκπέμπει ο Ήλιος κατά τα εκρηκτικά φαινόμενα, τα οποία ανακλούν τα φορτισμένα σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας. Έτσι προκαλείται η παρατηρούμενη παροδική μείωση της κοσμικής ακτινοβολίας και της 11ετούς μεταβολής που ακολουθεί την ηλιακή δραστηριότητα, με αποτέλεσμα τα παρατηρούμενα φαινόμενα λόγω πολύ εκτεταμένων μεταβολών στον διαπλανητικό χώρο, στο μαγνητισμένο πλάσμα του



ηλιακού ανέμου. Έτσι μόνον θα μπορούσαν να επηρεάζουν την κίνηση και διάδοση των φορτισμένων σωματίων της κοσμικής ακτινοβολίας μεγάλης ενέργειας, η οποία προέρχεται από τον Γαλαξία. Η χαμηλής ενέργειας κοσμική ακτινοβολία προέρχεται από τις εκρήξεις του Ηλίου και από τα ταχεία ρεύματα του ηλιακού ανέμου.

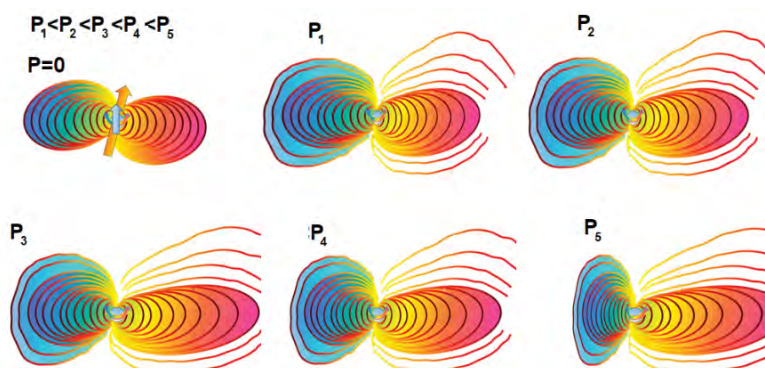
Οι μαγνητόσφαιρες

Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ηλιακού ανέμου με τα μαγνητικά πεδία των πλανητών είναι η δημιουργία των πλανητικών μαγνητοσφαιρών. Αντιστοίχως σχηματίζονται και μερικές δορυφορικές μαγνητόσφαιρες γύρω από δορυφόρους πλανητών μέσα στις μαγνητόσφαιρες των πλανητών, όπως έδειξαν πρόσφατες μετρήσεις των διαστημοπλοίων *Γαλιλαίος* και *Κασίνι*.

Μαγνητόσφαιρες σχηματίζονται ακόμη και γύρω από μερικούς δορυφόρους, κάποιους από τους αναρίθμητους αστεροειδείς, και τους κομήτες γύρω από τους οποίους σχηματίζονται σε όλο τους το μεγαλείο παίρνοντας την μορφή της ουράς των ιόντων. Οι μαγνητόσφαιρες των κομητών είναι πολύ φαντασμαγορικές ουρές ιόντων. Σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση του κομήτη με τον ηλιακό άνεμο, επειδή διπλώνονται γύρω τους οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου του ηλιακού ανέμου. Δηλαδή, η μάζα του ηλιακού ανέμου φορτώνεται με σωματίδια (κυρίως ιόντα νερού) που βγάζει ο κομήτης, με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η κίνηση του ηλιακού ανέμου και οι δυναμικές γραμμές του διαπλανητικού πεδίου να διπλώνονται μπροστά στον κομήτη. Η μελέτη μερικών από αυτά τα αντικείμενα αποτελούν τα κύρια κεφάλαια της Φυσικής Διαστήματος.

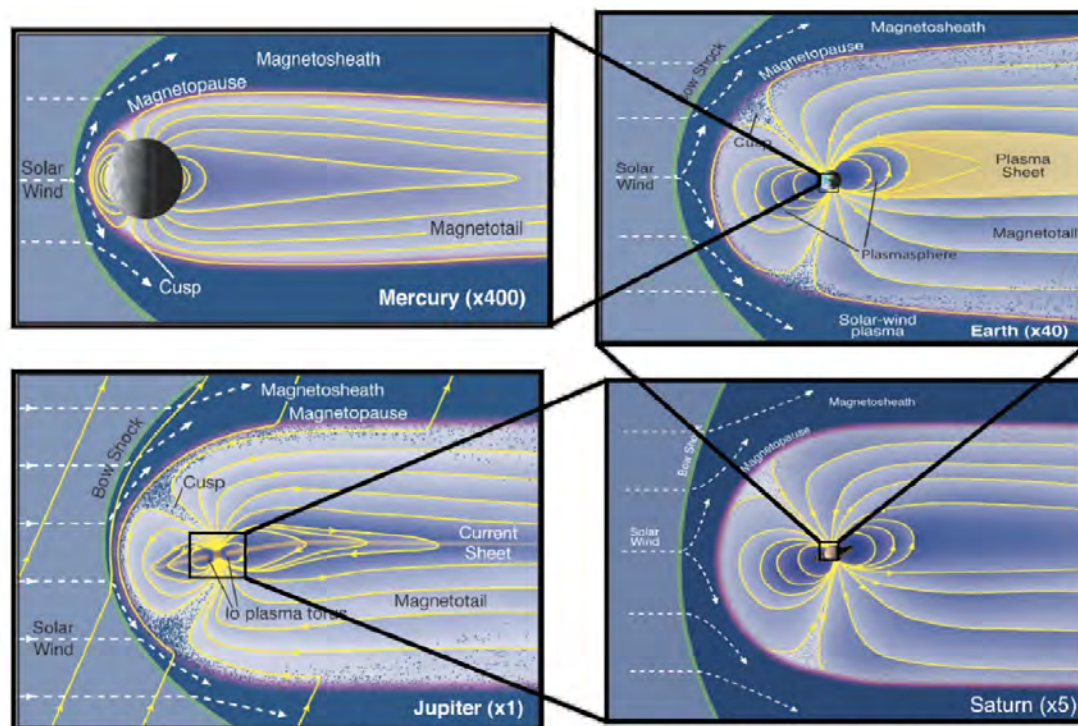
Ο ηλιακός άνεμος είναι ένα αραιό ρευστό με τεράστια ταχύτητα V , μαγνητικό πεδίο B και υψηλή θερμοκρασία T και ασκεί πίεση $P = \frac{1}{2} \rho V^2 + B^2 / 2\mu_0 + \Sigma n k T$, η οποία εξισορροπείται με την αντίστοιχη πίεση του μαγνητικού πεδίου του πλανήτη ή, όταν αυτός δεν έχει, με την θερμική πίεση της ιονόσφαιρας.

Η έκταση της μαγνητόσφαιρας αλλάζει δραστικά καθώς αλλάζει η



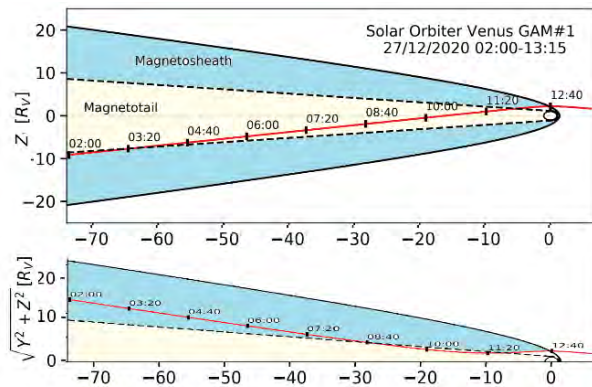
πίεση του ηλιακού ανέμου, η οποία εξαρτάται ουσιαστικά και μόνον από την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου. Στην σχετική σχηματική παράσταση αρχικά απεικονίζεται το μαγνητικό πεδίο χωρίς ηλιακό άνεμο και βαθμιαία η πίεση αυξάνει συνεχώς συμπιέζοντας δραστικά την μαγνητόσφαιρα. Με αυτόν τον τρόπο ο ηλιακός άνεμος, καθώς συναντά τους πλανήτες και άλλα σώματα, αλληλεπιδρά με αυτούς με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οι μαγνητόσφαιρες γύρω από εκείνους που έχουν μαγνητικό πεδίο, δηλαδή γύρω από όλους τους πλανήτες με εξαίρεση την Αφροδίτη και τον Άρη. Οι μαγνητόσφαιρες έχουν σχήμα περίπου ημισφαιρικό γύρω από την φωτεινή πλευρά του πλανήτη, ενώ στην σκοτεινή οι μαγνητόσφαιρες εκτείνονται με την μορφή κόλουρου κώνου που οι διαστάσεις του αυξάνουν όσο απομακρυνόμαστε από τον πλανήτη. Μαγνητόσφαιρες κομητών έχουν μετρηθεί πολλές αστρονομικές μονάδες μακριά (4,5 AU). Οι μαγνητόσφαιρες και ιδίως του Δία και του Κρόνου είναι τα μεγαλύτερα σε έκταση αντικείμενα του ηλιακού μας συστήματος, μια και οι ουρές τους είναι πιθανότατα μεγαλύτερες από τις ουρές των κομητών. Αν και δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι, όπως οι ουρές των κομητών, η μαγνητόσφαιρα του Δία εκπέμπει στο υπεριώδες. Είναι το μεγαλύτερο αντικείμενο στο ηλιακό σύστημα, πολλές φορές μεγαλύτερο από τον Ήλιο, με εξαίρεση την ηλιόσφαιρα (την μαγνητόσφαιρα που δημιουργείται γύρω από τον Ήλιο), και έχει ακτίνα 65–115 AU. Οι κομήτες είναι επίσης πολύ ενδιαφέροντα αστρονομικά αντικείμενα γιατί πιθανότατα αποτελούν τα αρχαιότερα αντικείμενα του ηλιακού συστήματος.

Οι μαγνητόσφαιρες δεν είναι καθόλου στατικές, αλλά μεταβάλλονται συνεχώς δυναμικά, καθώς αλλάζει η ταχύτητα, η πυκνότητα και το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου. Αποτελούν ζωντανά εργαστήρια αστροφυσικού πλάσματος, αλλά και ρευστομηχανικής. Κυρίαρχες σε αυτές είναι οι αστάθειες, όπως η Kelvin–Helmholz, που οδηγούν και σε περιοδικά φαινόμενα, με περιόδους γύρω στα 5 min για την μαγνητόσφαιρα της Γης και 60 min για την μαγνητόσφαιρα του Δία.



Οι μαγνητόσφαιρες των πλανητών και η ηλιόσφαιρα. Εικόνες της Fran Bagenal και του Steve Bartlett

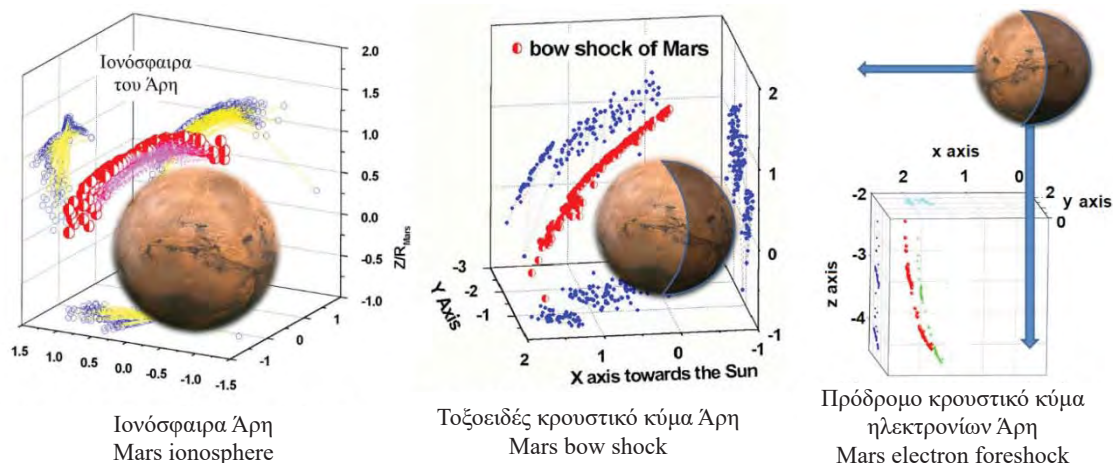
Μαγνητόσφαιρα και Ιονόσφαιρα της Αφροδίτης



Η μαγνητόσφαιρα της Αφροδίτης μελετήθηκε και τελευταία με το διαστημόπλοιο που έχει σκοπό να μελετήσει τον Ήλιο από κοντά και να έχει τροχιά κοντά στους πόλους του. Βασιστήκαμε στις μετρήσεις του διαστημοπλοίου Solar Orbiter που χρησιμοποιεί την Αφροδίτη αλληλεπιδρώντας με αυτήν

βαρυντικά, ώστε να βγει βαθμιαία έξω από το επίπεδο της τροχιάς της Γης (την εκλειπτική), να αποκτήσει μικρότερο περιήλιο, και να μετρήσει τον ηλιακό άνεμο, την πηγή του τον Ήλιο, από κοντά και πάνω από τους πόλους, όπου βρίσκονται οι στεμματικές οπές, οι πηγές του γρήγορου ηλιακού ανέμου. Ο Solar Orbiter παίζοντας μπιλιάρδο μαζί με την Αφροδίτη, που είναι πάντοτε καλυμμένη με τα πυκνά πέπλα των νεφών της, μετράει την μαγνητόσφαιρά της καθώς πηγαίνει εκεί να αλληλεπιδράσει βαρυντικά και να βγει όλο και περισσότερο από το επίπεδο της εκλειπτικής και να αποκτήσει κοντινότερο προς τον Ήλιο περιήλιο. Η Αφροδίτη δεν έχει μαγνητικό πεδίο. Η πυκνή της ατμόσφαιρα αλληλεπιδρά άμεσα με τον ηλιακό άνεμο αφού δεν υπάρχει μαγνητική ασπίδα. Ο ηλιακός άνεμος αποσπά τμήματα της

ατμόσφαιρας της ιονόσφαιρας που έχει ιονιστεί από την ακτινοβολία του Ηλίου. Αυτά κάνουν την μαγνητόσφαιρα της Αφροδίτης να μοιάζει με την ουρά των κομητών, αν και είναι αόρατη. Η τροχιά του Solar Orbiter στις 27 Δεκεμβρίου 2020 που πέρασε από την αδελφή της Γης ήταν ιδανική, διότι ήταν για μεγάλη χρονική περίοδο σχεδόν εφαπτόμενη στην μαγνητόσφαιρα.



Η ιονόσφαιρα, το κρουστικό τοξοειδές κύμα και το πρόδρομο κύμα των ηλεκτρονίων του Άρη. Μετρήσεις της ομάδας μας. Mars Global Surveyor, NASA.

Μαγνητόσφαιρα και Ιονόσφαιρα του Άρη

Μελετήσαμε την μαγνητόσφαιρα του Άρη και είμαστε οι πρώτοι που ανακαλύψαμε και μετρήσαμε το πρόδρομο κρουστικό κύμα του κόκκινου πλανήτη. Μελετήσαμε και το τοξοειδές κρουστικό κύμα του Άρη με συνδυασμένα δεδομένα του μαγνητικού πεδίου και ροής ηλεκτρονίων που ελήφθησαν από τον Mars Global Surveyor (MGS). Αποδείξαμε ότι αυτό είναι πολύ ομαλό, παρά τις όποιες μεταβολές του διαπλανητικού πλάσματος, μεταβολής της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου. Μελετήσαμε και την ιονόσφαιρά του με μετρήσεις από το διαστημόπλοιο MGS.

Η θέση του τοξοειδούς κρουστικού κύματος του Άρη βρίσκεται σε ελαφρώς διαφορετική θέση, ανάλογα με την ενέργεια των ενεργητικών ηλεκτρονίων που χρησιμοποιείται ως διαγνωστικό εργαλείο για την ανίχνευση. Συγκρίναμε τα αποτελέσματα προσδιορισμού θέσης του τοξοειδούς κρουστικού κύματος του Άρη χρησιμοποιώντας ηλεκτρόνια με διάφορες ενέργειες και διαπιστώθηκε ότι η θέση του μπορεί να ανιχνευθεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας κανάλια ενέργειας ηλεκτρονίων από 50 έως 200 eV. Οι διαφορές του προσδιορισμού της θέσης βρέθηκε να είναι συγκρίσιμες με το πραγματικό πάχος του τοξοειδούς κρουστικού κύματος του Άρη (~70 km). Η ιονόσφαιρα του βόρειου Άρη μελετήθηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα ροής ηλεκτρονίων που λαμβάνονται από το ηλεκτρονικό ανακλασίμετρο (ER) στο διαστημόπλοιο MGS της NASA. Ανιχνεύσαμε πολλούς διακριτούς σωλήνες ροής θερμού πλάσματος,

που σχηματίζονται όταν ο μαγνητοσφαιρικός πληθυσμός πλάσματος συνδέεται μαγνητικά με την ανώτερη ιονόσφαιρα του Άρη και μετρήσαμε τα χαρακτηριστικά τους και την κατανομή τους. Διαπιστώθηκε πιθανή συσχέτιση με τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του φλοιού. Τα χαρακτηριστικά της ιονόπαυσης και η παραλλαγή του αναλύθηκαν επίσης στατιστικά.



Τα κρυοφαίστεια του Τιτάνα βρίσκονται στον νότιο πόλο του και εκτοξεύουν νερό που παγώνει και σχηματίζει τον δακτύλιο E του Κρόνου. Η ισχύς του προέρχεται από παραμορφώσεις από παλιρροϊκές δυνάμεις, Διαστημόπλοιο Cassini. ESA.

Αστροσφαίρες

Μαγνητόσφαιρες έχουν επίσης και πλήθος άλλα ουράνια αντικείμενα, όπως οι πάλσαρ και οι γαλαξίες, ενώ αστροσφαίρες, δηλαδή περιοχές γύρω από άστρα όπου επικρατεί ο αστρικός τους άνεμος, θα πρέπει να έχουν πλήθος άλλα αστέρια με έντονους αστρικούς ανέμους, παρόλο που αυτοί είναι συχνά τελείως διαφορετικοί από τον ηλιακό άνεμο.

Κρόνος, Τιτάνας και Εγκέλαδος

Η μελέτη του Κρόνου και των δορυφόρων του πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Αστεροσκοπείο Παρισίων και το Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ.

Αναπτύξαμε φασματοσκοπική μέθοδο, όπου χρησιμοποιώντας απειράριθμα φασματοσκοπικά δεδομένα ($600\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$) από το πείραμα Cassini Composite Infrared Spectrometer μπορούμε να βλέπουμε μέσα από την θολή στρατόσφαιρα του Τιτάνα, του κατεψυγμένου τεράστιου δορυφόρου του Κρόνου, την επιφάνειά του σε γεωγραφικά πλάτη από 50° N έως 50° B . Μετρήσαμε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της χημικής σύνθεσης στην στρατόσφαιρα κατά την διάρκεια της αποστολής Cassini σε διάφορες εποχές του έτους και συναγάγαμε ακριβείς συγκεντρώσεις για τα ιχνοστοιχεία και τα κύρια ισότοπά τους. Κατά την διάρκεια των 6 ετών της έρευνας διαπιστώσαμε, ότι η χημική σύνθεση στην στρατόσφαιρα του Τιτάνα ποικίλλει σημαντικά με το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή έχει αυξημένους λόγους ανάμιξης στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη.

Οι μετρήσεις φασματοσκοπίας και ραντάρ από την αποστολή Cassini–Huygens δείχνουν ότι ορισμένοι από τους δορυφόρους του Κρόνου είναι γεωλογικά ενεργοί. Ο Τιτάνας διαθέτει μια πολύπλοκη και δυναμική

γεωλογία, όπως μαρτυρείται από την ποικίλη επιφανειακή μορφολογία που προκύπτει από αιολικές, ρευστές, και ενδεχομένως τεκτονικές και ενδογενείς κρυοφαιστειακές διεργασίες. Προσδιορίσαμε διάφορες περιοχές του Τιτάνα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για μελλοντικές προσεδαφίσεις. Το όργανο Synthetic Aperture Radar (SAR) στο διαστημικό σκάφος Cassini υποδεικνύει την πιθανότητα μορφοτεκτονικών χαρακτηριστικών στην επιφάνεια του Τιτάνα, όπως βουνά, κορυφογραμμές, ρήγματα και φαράγγια.

Η διαστημική αποστολή TandEM (L-class) προτάθηκε από εμάς από κοινού με πολλά εργαστήρια και έγινε δεκτή για περαιτέρω μελέτες, με στόχο την εξερεύνηση του Τιτάνα και του Εγκέλαδου, οι οποίοι έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Προτείνεται η χρήση υποβρυχίου με πολλούς αυτόνομους δειγματολήπτες, που θα βυθισθεί μέσα σε κάποια από τις παγωμένες λίμνες που αποτελούνται από νερό και υδρογονάνθρακες, και κάθε δειγματολήπτης θα διεισδύσει σε διαφορετικές περιοχές. Επίσης έχουμε προτείνει σειсмоγράφους που θα μελετήσουν το υπέδαφος του Τιτάνα και πιθανώς του Εγκέλαδου.

Προτείνουμε και το πρόγραμμα Kronos που είναι νέα διαστημική αποστολή με στόχον την επιτόπια μέτρηση της χημικής και ειδικότερα της ισοτοπικής συνθέσης της ατμόσφαιρας του Κρόνου με ανιχνευτές και τηλεπισκόπιση. Έτσι θα κατανοήσουμε την προέλευση, τον σχηματισμό και την εξέλιξη των γιγαντιαίων πλανητών και των εξωπλανητών, των εξωηλιακών πλανητών. Οι αφθονίες ευγενών αερίων, υδρογόνου, άνθρακα, αζώτου, οξυγόνου, θείου και των ενώσεών τους, καθώς και του λόγου D/H και λοιπών ισοτόπων είναι ο κύριος σκοπός της αποστολής.

Ευχαριστίες

Εκφράζω ευχαριστίες στο ΕΚΠΑ, NASA, ESA, HST, NOA/JAXA, ESO, American Geophysical Union, American Physical Society, τα δεδομένα OMNI ελήφθησαν από το GSFC/SPDF OMNIWeb interface στο <https://omniweb.gsfc.nasa.gov>, https://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/, όλους τους πειραματικούς που μας έδωσαν τις μετρήσεις τους για τις γραφικές παραστάσεις, τους κ. Prof. Miloslav Druckmüller, κ. Andreas Möller για εικόνες εκλείψεων του Ηλίου και κομητών, το WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels, κ. D. McComas, κ. David Hathaway, κα Fran Bagenal κ. Barnet, κ. Δημ. Δεληγεωγόπουλο.

Ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον Σύλλογο Ομοτίμων Καθηγητών ΕΚΠΑ, το 5ο Πανεπιστήμιο Πολιτών «Οι θετικές επιστήμες τον 21ον αιώνα και οι εφαρμογές τους στην κοινωνία», τους συνδιοργανωτές Καθηγητές, κυρία Μάρω Παπαθανασίου και κύριο Παν. Σίσκο, την κα Μόιρα Μπρίκη, τους τεχνικούς.

Εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου τους κ. J.J. Quenby για την πολυετή συνεργασία στο Imperial College, στον παλιό μαθητή και φίλο κ. J.F. Valdes Galicia αντιστοίχως για το Εθνικό και Αυτόνομο Πανεπιστήμιο του Μεξικού.

Η διδασκαλία μου και η έρευνα στο ήταν επιτυχημένες και ευχάριστες όπως και η ζωή μου στο Πανεπιστήμιο χάρη στα μέλη της ομάδας μας και εκφράζω με χαρά τις ευχαριστίες μου στους παλιούς μαθητές και αιώνιους συνεργάτες και φίλους, κ. Γ. Έξαρχο. Αείμνηστο Ι. Πολυγιάννακη, κ. Α. Αλεβίζο, κ. Α. Κακούρη, κ. Β. Κατσίκας, κα Α. Σολωμονίδου, κ. Γ. Μπαμπασίδη, κ. Γ. Λιβαδιώτη, κ. Γ. Νικολάου, κα Σ. Δρίλλια, κ. Ν. Σέργη, κ. Κ. Διαλυνά, κ. Η. Ρούσσο. Επίσης είμαι ευγνώμων στους φίλους μέλη της ομάδας ARTEMIS κ. J.-L. Bougeret, κ. G. Dumas, κ. M. Maksimovich, κ. Α. Κοντογεώργο, κ. Π. Τσιτσιπή, κ. Κ. Καρούμπαλο, κα Π. Πρέκα Παπαδήμα, κ. Α. Χείλαρη, κ. Κ. Μπουρατζή, κ. Σ. Αρμάτα, κ. Κ. Αλυσάνδρακη, κ. Φάνη Σμάνη, κα Α. Coustenis, κ. R Mawad, κ. W Abdel-Sattar, κ. Ιωάννη Ζουγανέλη, κα Lina Hadid et al. Τα σχήματα της ουδέτερης επιφάνειας, της κατανομής των εκλάμψεων και της ταχύτητας του ηλιακού ανέμου έφτιαξαν ο κ. Γ. Παππάς, κα Μαρλένα Παρλαβάντζα και ο κ. Λεάνδρος Σπηλιοτόπουλος όταν ήταν φοιτητές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Raouafi, N. E. and Vourlidas, A. (Eds.) (2021) Solar Physics and Solar Wind, Geophysical Monograph 258, American Geophysical Union, John Wiley & Sons, Inc

Cranmer, S. R., & Winebarger, A. R. (2019) The properties of the solar corona and its connection to the solar wind. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 57, 157-187.

Kivelson, M. G., & Russell, C. T. (Eds.) (1995) Introduction to space physics. Cambridge university press.

Nakariakov, V. M., & Kolotkov, D. Y. (2020). Magnetohydrodynamic waves in the solar corona. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 58, 441-481.

Hadid, L. Z., N. J. T. Edberg, T. Chust, D. Píša, A. P. Dimmock, M. W. Morooka, M. Maksimovic, Yu. V. Khotyaintsev, J. Soucek, M. Kretzschmar, A. Vecchio, O. Le Contel, A. Retino, R. C. Allen, M. Volwerk, C. M. Fowler, L. Sorriso-Valvo, 10, T. Karlsson, O. Santolík, I. Kolmašová, F. Sahraoui, K. Stergiopoulou, X. Moussas, K. Issautier, R. M. Dewey, M. Klein Wolt, O. E. Malandraki, E. P. Kontar, G. G. Howes, S. D. Bale, T. S. Horbury, M. Martinovic, A. Vaivads, V. Krasnoselskikh, E. Lorfèvre, D. Plettemeier, M. Steller, Š. Štverák, 25, P. Trávníček, H. O'Brien, V. Evans, V. Angelini, M. C. Velli, and I. Zouganelis, (2021) Solar Orbiter's first Venus flyby: observations from the Radio and Plasma Wave instrument, *Astronomy & Astrophysics* manuscript accepted May 19, 2021

ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΓΙΑ ΤΟ 2030

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά η θέση των φυσικών επιστημών στον ευρύτερο προβληματισμό της Ανθρωπότητας και της χώρας μας μέσα στα γεωπολιτικά πλαίσια που κινείται (Ευρωπαϊκή Ένωση, Μεσόγειος) απέναντι στο μέλλον. Ένα μέλλον που χαρακτηρίζεται από πολύ σοβαρές προκλήσεις και προβλήματα, πέρα από την ραγδαία αλλαγή του κλίματος, την δραστική μείωση των υδατικών πόρων, την ρύπανση, την ερημοποίηση των εδαφών και κυρίως την μαζική απώλεια της βιοποικιλότητας που έχει ξεπεράσει σε ρυθμούς τις 100 και πλησιάζει τις 1000 φορές ταχύτερα από ό,τι τα αναμενόμενα «φυσικά» όρια.

Παρουσιάζονται διάφορα αποτελέσματα από τις μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί στην Μεσόγειο και δίνεται στην συνέχεια ένα παράδειγμα, το Δέλτα του Νείλου, άμεσης συσχέτισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων με τα κοινωνικά / οικονομικά / γεωπολιτικά.

Ακολουθεί το ερώτημα, ποιά είναι η προτεινόμενη διεθνώς παραδεδεγμένη λύση και δίνεται η απάντηση: «Η Αειφόρος Ανάπτυξη».

Πριν εξηγηθεί η έννοια αυτή, γίνεται σύντομη επισκόπηση της εξέλιξης της σχέσης του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον/φύση και την σταδιακή ανάπτυξη αυτού που σήμερα καλούμε Ανθρωπόσφαιρα σε αντιδιαστολή προς την Φύση (βιόσφαιρα, ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα, γεώσφαιρα).

Εξηγείται η έννοια της Αειφόρου Ανάπτυξης και δίνεται η οπτικοποίησή της, όπως έχει προταθεί από τον συγγραφέα και έχει υιοθετηθεί σε σειρά επίσημων Εκθέσεων Διεθνών Οργανισμών.

Γίνεται αναφορά στο Θεσμικό Πλαίσιο της Μεσογείου με την Ένωση για την Μεσόγειο (UfM) και την Συνθήκη της Βαρκελώνης και το UNEP/MAP, και τους Παγκόσμιους Στόχους του ΟΗΕ για την Αειφόρο Ανάπτυξη που πρέπει να αποτελούν τις κατευθυντήριες αρχές για όλες τις πολιτικές σε παγκόσμιο, περιφερειακό, εθνικό και τοπικό επίπεδο. Γίνεται αναφορά στην Μεσογειακή Στρατηγική για την Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη και την Συμβολή του Πανεπιστημίου Αθηνών σε αυτή.

Ακολουθεί αρκετά λεπτομερής αναφορά των βασικών Στρατηγικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με έμφαση στην «Νέα Agenda» για την Μεσόγειο (2021) και στην «Πράσινη Συμφωνία» (2019), λόγω της τεράστιας σημασίας τους ως μοχλού ανάπτυξης, που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην Χημεία και γενικά στις Θετικές Επιστήμες και την Τεχνολογία αλλά και λόγω των εξαιρετικά μεγάλων οικονομικών πόρων που οι πολιτικές αυτές κινητοποιούν, ώστε να οδηγηθούμε σε πλήρη απαλλαγή των εκπομπών μας από άνθρακα μέχρι το 2050.

Το άρθρο διατυπώνει την αδήριτη ανάγκη να προχωρήσουμε συντεταγμένα για την εκπλήρωση των Παγκόσμιων Στόχων και μάλιστα μέσα από τους προγραμματισμένους μηχανισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης χωρίς άλλες αργοπορίες και καθυστερήσεις.

Η Μεγάλη Πρόκληση και το «Στοίχημα»

Η μεγάλη πρόκληση του 21ου αιώνα και το «στοίχημα» της Ανθρωπότητας του 2021, είναι η εξασφάλιση συνθηκών υγιεινής ζωής για πάνω από 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους το 2050, σε έναν κόσμο ειρηνικό, όπου το φυσικό περιβάλλον και η βιοποικιλότητα διατηρούνται κατά το δυνατόν, στα σημερινά τουλάχιστον επίπεδα, ώστε να παρέχουν τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και τους φυσικούς πόρους που είναι απαραίτητα για την λειτουργία της κοινωνίας και της οικονομίας.

Η πρόκληση αυτή είναι ιδιαίτερα μεγάλη, πρωτόγνωρη για τον πλανήτη μας, γιατί ενώ ο πληθυσμός αυξάνεται υπερβολικά γρήγορα, χωρίς ουσιαστική πολιτική οικογενειακού προγραμματισμού στο μεγαλύτερο μέρος του κόσμου, η αληθινή οικονομία και οι θέσεις εργασίας δεν αυξάνουν αναλόγως, ενώ, και κυρίως, το φυσικό κεφάλαιο του πλανήτη συρρικνώνεται ταχύτατα δεδομένου ότι:

Η βιοποικιλότητα ελαττώνεται με ταχύτατους ρυθμούς.

Οι διαθέσιμοι φυσικοί πόροι, (π.χ. το γλυκό νερό), ελαττώνονται ή υποβαθμίζονται ποιοτικά και αχρηστεύονται λόγω ρύπανσης, ιδιαίτερα μάλιστα στις περιοχές που τους χρειάζονται περισσότερο.

Τα γόνιμα εδάφη μετατρέπονται σε άγονα, διαβρωμένα ή «αλατωμένα».

Το κλίμα αλλάζει ραγδαία, με αυξανόμενες θερμοκρασίες, επηρεάζοντας ριζικά τις συνθήκες στον πλανήτη μας και επιδεινώνοντας όλα τα προηγούμενα.

Η πρόκληση είναι μεγάλη, γιατί ακόμα η ανθρωπότητα δεν είναι αρκετά «ενωμένη» και αλληλέγγυα για την αντιμετώπιση όλων των προβλημάτων της, με τους ρυθμούς που επιβάλλεται, ώστε να αποτραπεί μια πρωτοφανής και αξεπέραστη σειρά από καταστρεπτικές επιπτώσεις που απειλούν σοβαρά την ίδια την επιβίωση μας.

Οι φυσικές επιστήμες και ιδιαίτερα η επιστήμη και οι κλάδοι της Χημείας Περιβάλλοντος και Χημικής Ωκεανογραφίας που υπηρετεί μέσω διεπιστημονικών συνεργασιών, προσπαθούν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των σχετικών προβλημάτων και την διαχείριση τους με στόχο την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης ως της μόνης ουσιαστικής απάντησης, στην οποία οφείλουμε όλοι ανεξαιρέτως στην επιστημονική κοινότητα και την κοινωνία να ενταχθούμε άμεσα.

Η Απώλεια της Βιοποικιλότητας

Η απώλεια της Βιοποικιλότητας στις διάφορες περιοχές του κόσμου έχει φτάσει ρυθμούς 100–1000 φορές ταχύτερους (και οδεύουμε ήδη σε ρυθμούς της περιοχής 1000–10000 φορές ταχύτερους) από το λεγόμενο «υπόβαθρο» που αναφέρεται στα τεκμήρια που διαθέτουμε από τα απολιθώματα του παρελθόντος. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2050 είναι πιθανόν να έχουν χαθεί πάνω από 17.000 είδη που σήμερα βρίσκονται στον κατάλογο των ιδιαίτερα απειλούμενων ειδών.¹

Ας σημειωθεί, ότι από τα περίπου 1,9 εκατομμύρια γνωστών οργανισμών και τους πολύ περισσότερους άγνωστους, *σήμερα γνωρίζουμε ότι εξαφανίζονται περί τα τρία γνωστά είδη κάθε ώρα που περνά.*

Τα αίτια συνδέονται στενά με την αλλαγή του κλίματος, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, αλλά και με τις ποικίλες ρυπάνσεις και άλλες πιέσεις που συνδέονται με κακή διαχείριση όπως η υπερεκμετάλλευση (μέσω υπεραλίευσης, αποψίλωσης δασών, κλπ.), η σπατάλη των βιολογικών αλλά και των αβιοτικών φυσικών πόρων (π.χ. ορυκτών).

Η Λειψυδρία στη Μεσόγειο

Η λειψυδρία εμφανίζεται, με ιδιαίτερη ένταση σε μερικές περιοχές του πλανήτη και ιδιαίτερα στις χώρες της Νοτιοανατολικής Μεσογείου, όπου οι υδατικοί πόροι ήταν πάντοτε φυσικά περιορισμένοι.

Στην Μεσόγειο, 180 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν με λιγότερο από 1000 m³ / έτος / άτομο και 80 εκατομμύρια άνθρωποι αντιμετωπίζουν έλλειψη, με λιγότερα από 500 m³ / έτος / κατά κεφαλήν, ενώ ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι 7.000 m³ ετησίως. Εννοείται ότι στην ποσότητα αυτή συμπεριλαμβάνονται όλες οι παραγωγικές ανάγκες που αντιστοιχούν σε κάθε άνθρωπο στην συγκεκριμένη χώρα ή περιοχή.

¹ Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2021. *Global Biodiversity Outlook 5*. (ISBN-9789292256883).

Στο μωσαϊκό των χωρών της Μέσης Ανατολής,² που χαρακτηρίζονται και από αυξανόμενο πληθυσμό, με ρυθμό αύξησης μεγαλύτερο από 2,8%, έχουν πολύ μικρό ποσοστό του διαθέσιμου γλυκού νερού ακόμα και σε σύγκριση με την λοιπή Μεσόγειο, το οποίο είναι και πολύ άνισα κατανομημένο, με αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερες εντάσεις μεταξύ γειτόνων, παρά τις προσπάθειες της λεγόμενης Υδροδιπλωματίας (Hydrodiplomacy).³

Ας σημειωθεί, ότι στην Μεσόγειο, ο «πολυπόθητος», από πολλές χώρες, τουρισμός προσθέτει τους θερμούς μήνες άλλα 200 εκατομμύρια άτομα.

Σε πολλές χώρες της Μέσης Ανατολής, η φυσική αύξηση του ντόπιου πληθυσμού επιδεινώθηκε από τις υψηλές ροές προσφύγων. Είναι, ακόμα, προφανές ότι οι κακές υγειονομικές συνθήκες δυσχεραίνουν την σωστή και έγκαιρη αντιμετώπιση επιδημιών και λοιμώξεων. Ο COVID-19 ανιχνεύεται στα νερά των αποχετεύσεων και ευτυχώς, όπου υπάρχουν κατάλληλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων αυτές προστατεύουν και με απομάκρυνση του ιού. Σε πολλές περιπτώσεις στην Μεσόγειο, όμως, τα λύματα διατίθενται ανεπεξέργαστα και μπορούν να μολύνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά αλλά και καλλιέργειες όπου (παρανόμως) χρησιμοποιούνται για αρδεύσεις.

Σε ό,τι αφορά στην Κλιματική Αλλαγή στην Μεσόγειο, θέλω να επισημάνω, ότι η περιοχή μας, θεωρείται «θερμό σημείο» (hot spot) παγκοσμίως. Θερμαίνεται ταχύτερα από όλες τις περιοχές του κόσμου, δεύτερη σε ρυθμό μετά την Αρκτική.

Ίσως δεν είναι πλήρως κατανοητό σε όλους, ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη οφείλεται σε πολύ μικρό ποσοστό αερίων που δεν υπήρχαν σχεδόν καθόλου στην ατμόσφαιρα πριν 300–400 χρόνια. Το διοξείδιο του άνθρακα από 2–3 mm τότε, ξεπερνά τα 400 mm στις μέρες μας και επίσης τα άλλα αέρια όπως το μεθάνιο, αυξήθηκε λόγω της αλλαγής των διατροφικών μας μοντέλων (περισσότερη κατανάλωση κρέατος, περισσότερη εσταβλισμένη κτηνοτροφία, περισσότεροι άνθρωποι, περισσότερη ορυζοκαλλιέργεια, ελιά, άλλα οξείδια του αζώτου, αιθάλη και άλλες ενώσεις που συνδέονται με τα αγροχημικά, τις πολλαπλές πηγές καύσης, κλπ).

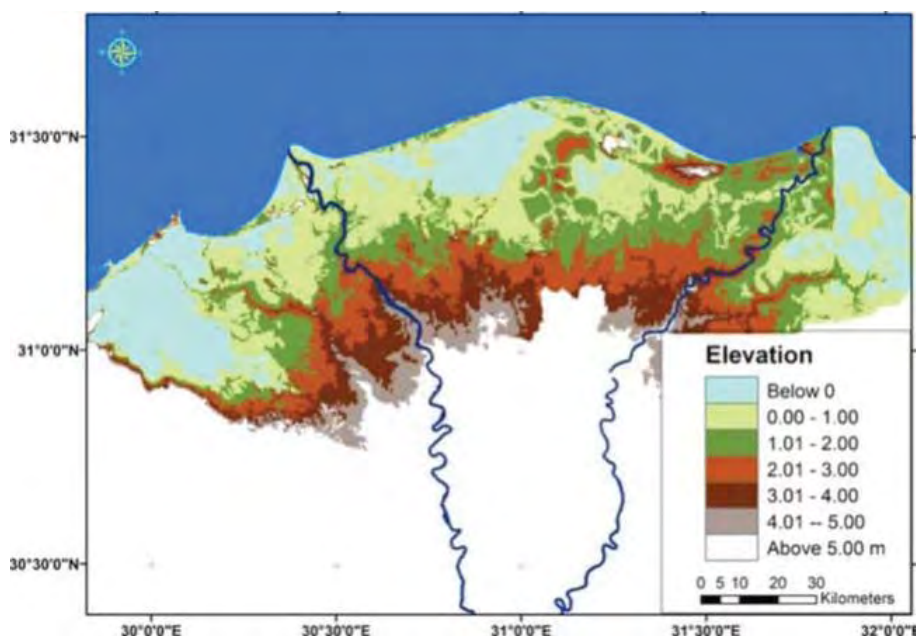
Η θέρμανση αυτή επηρεάζει την ίδια την θάλασσα. Αλλάζει την κυκλοφορία, αυξάνει την οξύτητα προκαλώντας θάνατο σε πολλά κοράλλια και φύκια επηρεάζοντας την απόθεση του ασβεστίου, διευκολύνει την εισαγωγή ξενικών ειδών από τον Ινδικό ωκεανό, μέσω της Ερυθράς

2 De Châtel F., Holst-Warhaft G. and Steenhuis T. 2014. Water Scarcity, Security and Democracy: a Mediterranean Mosaic. Cornell University and GWP-Med. ISBN 978-1-4951-1550-9.

3 Ballabio, R., Comair, F.G., Scalet, M., Scoullos, 2015. Science diplomacy and transboundary water management: The Orontes River case. UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002330/233031M.pdf>. ISBN 978-92-3-000017-2.

Θάλασσας και της Διώρυγας του Σουέζ. Η πρόσφατη απόφραξη της από μεγάλο πλοίο, φαίνεται ότι σε σημαντικό βαθμό οφείλεται στην κλιματική αλλαγή και την μεταφορά τεραστίων ποσοτήτων σκόνης και ιζημάτων που μείωσαν το βάθος.⁴

Επηρεάζει ακόμη την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (π.χ. στην περιοχή μας ανέρχεται σε 5–20 mm/έτος) αλλά και το σύνολο του υδρολογικού κύκλου, αλλάζοντας ριζικά την ροή και το διαθέσιμο νερό των ποταμών, προκαλώντας εισχώρηση του νερού της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς και μειώνοντας την έκταση, λειτουργία και χρησιμότητα ζωτικών δελταϊκών συστημάτων, όπως αυτό του Νείλου, με ανυπολόγιστες κοινωνικοοικονομικές αλλά και γεωπολιτικές συνέπειες, με πολύ πιθανόν άμεσον αντίκτυπο και στην χώρα μας.⁵

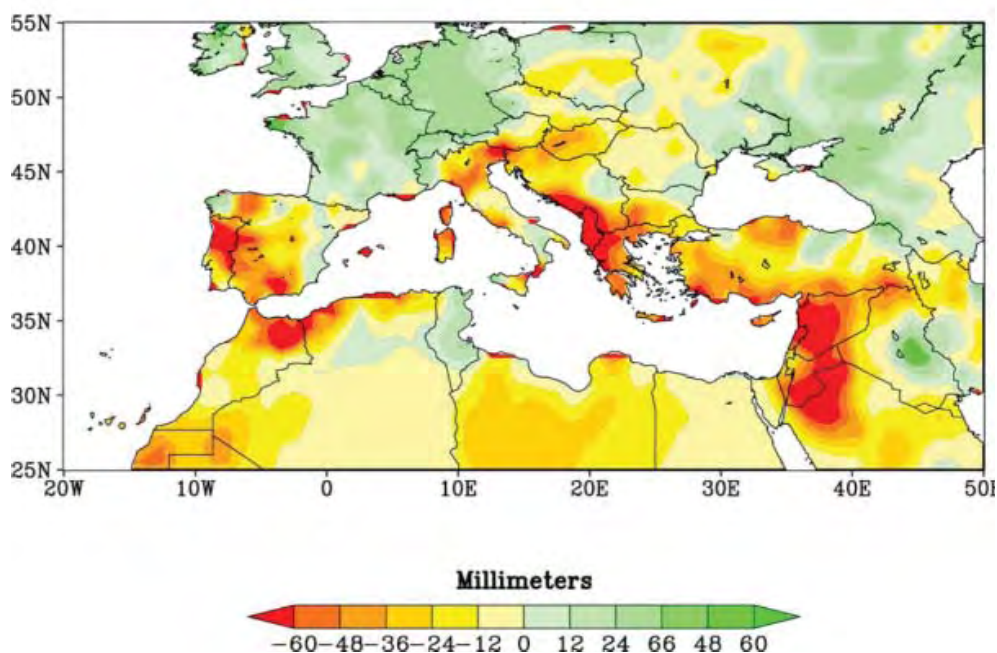


Σχήμα 1: Κίνδυνος «βύθισης» στο Δέλτα του Νείλου.

Στην ζώνη με ύψος λιγότερο από 1 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ζούσαν ήδη το 2000 πάνω από 10 εκατομμύρια άτομα. Η ζωή και η οικονομία τους απειλούνται άμεσα από την κλιματική αλλαγή. (Σημ. 5)

4 Zerefos Ch., 2021. Some thoughts on the global warming effects in the Mediterranean. In the *Sustainable Mediterranean Issue on Climate Change*, 78 (in press).

5 Hassaan M. and Abdrabo M. 2013. Vulnerability of the Nile Delta coastal areas to inundation by sea level rise. *Environmental Monitoring and Assessment* 185 (8). ISSN 0167-6369.



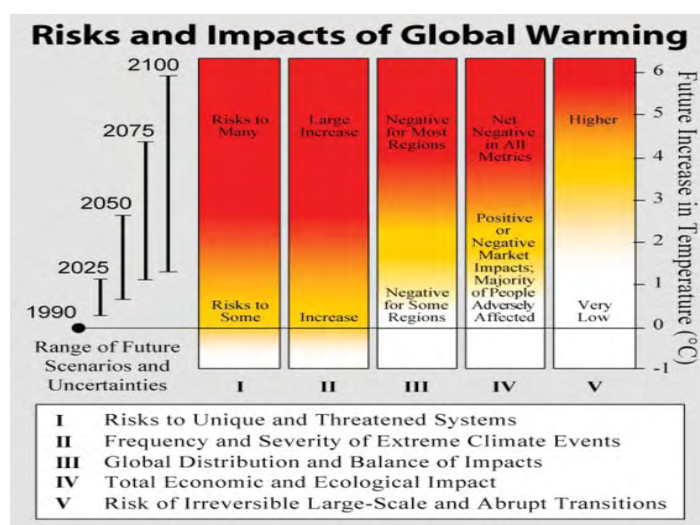
Σχήμα 2: Περιοχές με αυξημένη ανομβρία κατά την περίοδο 1971–2010 έναντι της περιόδου 1902–2010.

Ταυτόχρονα, όχι μόνο τα κλιματικά μοντέλα, αλλά και οι μετρήσεις και παρατηρήσεις μας από το πεδίο, είναι εξαιρετικά ανησυχητικές με ιδιαίτερα δυσοίωνες προβλέψεις για την ζωή και την οικονομία μας τα επόμενα χρόνια. Στο Σχήμα 2,⁶ φαίνονται οι περιοχές που επηρεάζονται ήδη συστηματικά από λειψυδρία λόγω της κλιματικής αλλαγής. Οι κόκκινες περιοχές είναι αυτές που επηρεάζονται περισσότερο από τη λειψυδρία λόγω της μειωμένης βροχόπτωσης κατά τις χειμερινές περιόδους.

Στο Σχήμα 3,⁷ μπορούμε να παρατηρήσουμε την εξέλιξη και διαβάθμιση των κινδύνων που διατρέχουμε, εάν εξακολουθήσουμε με τους ίδιους ρυθμούς, τις δραστηριότητες μας, ακόμα και τις υποτιθέμενες «σωστικές».

6 Hoerling M., Eischeid J., Perlwitz J., Quan X., Zhang T., Pegen P., 2011. On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate*, 25, 2147-2161.

7 IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.



Σχήμα 3: Απειλές και Επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη.
Image created by Robert A. Rohde/Global Warming Art.

Σήμερα (2021), είμαστε στην ζώνη που έχουμε ήδη υποστεί κάποιες μη αναστρέψιμες ή δύσκολα αναστρέψιμες αρνητικές μεταβολές, αλλά έχουμε μπροστά μας τα τελευταία ελάχιστα χρόνια με δυνατότητες να σταματήσουμε ή και να «αναστρέψουμε» κάποιες σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες στον πλανήτη και την περιοχή μας. Οι μελέτες που στήριξε η Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος δείχνουν ότι οι αναμενόμενες ζημιές υπολογίζονται σε πάρα πολλά δισεκατομμύρια· τα απαραίτητα, καίτοι κοστοβόρα μέτρα προσαρμογής μπορούν να μειώσουν στο ήμισυ περίπου αυτές τις απώλειες.⁸ Αν συνεχίσουμε, όπως πάμε τώρα, τα επόμενα 25–30 χρόνια η κατάσταση θα επιδεινωθεί με μη αναστρέψιμο τρόπο.

Ποια είναι λοιπόν η απάντηση;

Το εργαλείο μας για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αναφέραμε είναι η γενικευμένη εφαρμογή της *Αειφόρου Ανάπτυξης*: της ανάπτυξης που δεν υποθηκεύει το μέλλον των επόμενων γενεών.

Η έννοια της Αειφορίας είναι η θέληση και το όραμα του ανθρώπου για το «νυν και αεί», για μια διεργασία ζωής και δημιουργίας στον πλανήτη Γη που «*ἀεὶ φέρει*» καρπούς. Πρόκειται για έννοια δανεισμένη από την

8 Climate Change Impacts Study Committee. 2011. “*The Environmental, economic and social impacts of climate change in Greece*”. Bank of Greece, ISBN 978-960-7032-49-2, pp. 1-136, https://www.bankofgreece.gr/publications/ClimateChange_FullReport_bm.pdf Climate Change Impacts Study Committee (CCISC). 2014. “*Greek tourism and climate change: adaptation policies and a new growth strategy*”. Bank of Greece. ISBN 978-960-7032-66-9, https://www.bankofgreece.gr/Publications/CCISC_Tourism%20and%20climate%20change_Fw%20Ch1.pdf

δασοπονία, στην οποία μετέχει και η παροδική «χρήση» του ίδιου του «φυσικού κεφαλαίου», αν χρειάζεται, με την προϋπόθεση της ύπαρξης προβλέψεων και μηχανισμών για την ανανέωσή του, όπως συμβαίνει σε ένα υλοτομούμενο αλλά ακμαίο και σωστά διαχειριζόμενο δάσος.

Η Αειφόρος Ανάπτυξη αποτελεί ουσιαστικόν, κατευθυντήριο στόχον ανάπτυξης για τις χώρες και περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συνδέεται, δε, άμεσα με τους 17 Αναπτυξιακούς Στόχους και τους 169 υποστόχους του ΟΗΕ, που πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2030, αν θέλουμε να αποφύγουμε την επερχόμενη, υπό άλλες συνθήκες, καταστροφή.⁹

Δεν νοείται, πλέον στις μέρες μας, οικονομική ανάπτυξη χωρίς παράλληλη προστασία/διατήρηση του περιβάλλοντος και της κοινωνικής συνοχής.

Ανάπτυξη και Προστασία του Περιβάλλοντος

Ανάπτυξη που καταστρέφει το περιβάλλον, διαβρώνει την ικανότητα για φυσική άμυνα των οργανισμών απέναντι στις νόσους και σπαταλά τους φυσικούς πόρους, είναι τελείως απαράδεκτη και επικίνδυνη, κατά τον 21^ο αιώνα.

Παράλληλα, η «Μουσειακή» προσέγγιση της βιοποικιλότητας και προστασίας του περιβάλλοντος, είναι πλέον, επίσης, ανεπαρκής (βλέπε MAB). Μονόδρομος λοιπόν παραμένει η Αειφόρος Ανάπτυξη του συγκερασμού των πλεονεκτημάτων της ανάπτυξης και των αναγκών περιορισμών για να διατηρηθεί ακμαία η φύση και οι μηχανισμοί της. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί τον πρωτοπόρο και τον κύριο υποστηρικτή της Αειφόρου Ανάπτυξης σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο.

Μονόδρομον αποτελεί, *γιατί στην αειφόρο ανάπτυξη*, η οικονομία, η κοινωνία και το περιβάλλον συνεργάζονται ώστε κανένα από τα τρία να μην «υποφέρει» από την ανάπτυξη των άλλων δύο.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να κινούμεθα μέσα στα όρια ανοχής και αντοχής των φυσικών συστημάτων και χωρίς να υπερβαίνουμε την «φέρουσα ικανότητα» της φύσης. Αυτά, μερικοί από εμάς, αρχίσαμε να τα λέμε πριν 50 χρόνια, όταν η Έκθεση του Club of Rome και του MIT «*Limits to Growth*» πρωτοδημοσιεύτηκε το 1971–1972, δημοσιεύοντας μάλιστα και σχετικά άρθρα στον Ελληνικό και Διεθνή Τύπο,¹⁰ που είχαν μεν

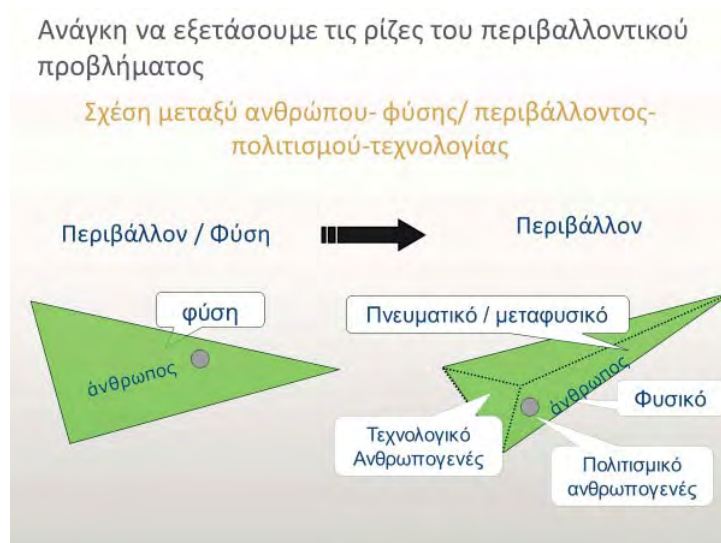
9 United Nations. 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>

10 Σκούλλος Μ. 1974. Υπερπληθυσμός – Πείνα. Νέα διάσταση στο Μαλθουσιανό πρόβλημα. Πνευματικές Σελίδες, 2, 111-131. Του ίδιου, 1976. Προτεινόμενες λύσεις οικολογικών προβλημάτων του άμεσου μέλλοντος. Πνευματικές Σελίδες, 3, 69-76. Του ίδιου, 1976.

κάποια απήχηση τότε, αλλά παραμερίστηκαν από άλλες προτεραιότητες και επαναξιολογούνται σήμερα.

Σχέση Ανθρώπου – Φύσης

Για να κατανοήσουμε πληρέστερα την σχέση ανθρώπου/περιβάλλοντός του και την σχέση «ανάγκης» για αειφόρο ανάπτυξη, πρέπει να εξετάσουμε πολύ σύντομα τις «βαθύτερες «απαρχές» και ρίζες του περιβαλλοντικού προβλήματος και τις λογαριθμικά αυξημένες επιπτώσεις του ανθρώπου στη φύση.



Σχήμα 4: Σχέση Ανθρώπου – Φύσης

Ο άνθρωπος (βλ. Σχήμα 4) από απόλυτα «ενταγμένη» οντότητα στο φυσικό περιβάλλον / την «φύση», πολύ νωρίς άρχισε να διαφοροποιείται. Ανέπτυξε την «τεχνολογία» του, με πρωτόγονα αρχικά εργαλεία, μετά με την μεταλλουργία κλπ., άρχισε να επικοινωνεί, να αποκτά γλώσσα, τέχνη, να διακοσμεί το σώμα, τον χώρο του, και τα χρηστικά του αντικείμενα και να αναρωτιέται «από που» ήρθε, «που» πηγαίνει, τι «υπέρτερο» ενδεχομένως υπάρχει που τον καθορίζει. Έτσι, διαφοροποιημένος σιγά σιγά από την υπόλοιπη φύση πέρα από τον «φυσικό» του «περίγυρο», ανέπτυξε το «τεχνολογικό», «πολιτισμικό» και «πνευματικό/μεταφυσικό» του περιβάλλον. Ενώ λοιπόν ο χώρος και οι πόροι του φυσικού περιβάλλοντος του ανθρώπου παραμένουν ριζικά τα ίδια, από την προϊστορία, οι άλλες τρεις διαστάσεις που αναφέρθηκαν, (επιστήμη–τεχνολογία, πολιτισμός, πνευματικότητα), γιγαντώθηκαν παρέχοντας αυτό που σήμερα αποκαλούμε «Ανθρωπόσφαιρα» (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Η Ανθρωπόσφαιρα

Η Ανθρωπόσφαιρα διαρκώς διογκώνεται σε αντίθεση με την ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, υδρόσφαιρα, γεώσφαιρα (τα στοιχεία γενικά του φυσικού περιβάλλοντος), που όχι μόνο παραμένουν ίδια, αλλά και «συμπυκνώνονται» (απώλεια ειδών) ή υποβαθμίζονται στις λειτουργίες τους από την ρύπανση, τις ακτινοβολίες, τους θορύβους, τους ιούς, και τις πάμπολλες επεμβάσεις του ανθρώπου στον πλανήτη και ακόμα το κοντινό του Διάστημα. Ήδη από πολύ νωρίς επισημάναμε την ηθική διάσταση αυτής της παρέμβασης¹¹ αλλά το σύνολο σχεδόν της Επιστημονικής Κοινότητας έδειξε να εκπλήσσεται και αγνόησε αυτές τις επισημάνσεις.

Η απάντηση που είπαμε ότι συνοψίζεται στην Αειφόρο Ανάπτυξη, όπως αυτή διαπιστώθηκε στο “*Our Common Future*” Report, υπό την πρώτην Πρωθυπουργό της Νορβηγίας Gro Harlem Brundtland, με την οποία ο συγγραφέας συνεργάστηκε (βλέπε φωτογραφία).



¹¹ Σκούλλος Μ. 1972. Η ηθική της επιστήμης. Πνευματικές Σελίδες, 1, 8-17.

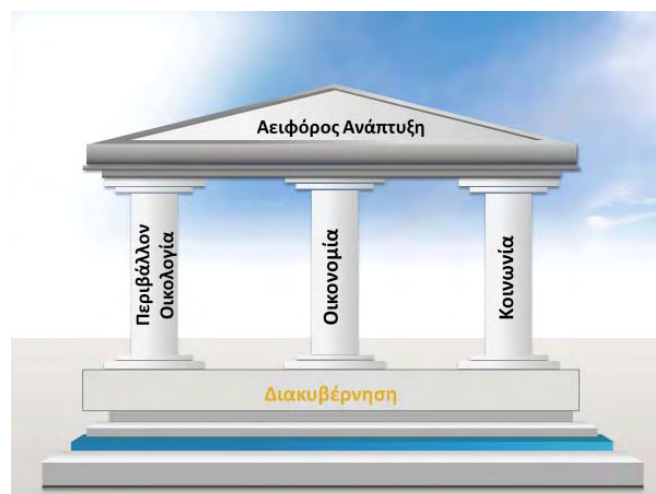
Η ΑΑ αποτελεί σήμερα την κυρίαρχη κατευθυντήρια οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αλλά και των κύριων πολιτικών σχημάτων συνέργειας που διαθέτουμε στην Μεσόγειο, δηλαδή:

Την Συνθήκη της Βαρκελώνης με τα Πρωτόκολλά της, την Γραμματεία της οποίας εξασφαλίζει το UNEP/MAP, με έδρα την Αθήνα, και της Ένωσης για την Μεσόγειο (*Union for the Mediterranean*) με έδρα την Βαρκελώνη που αποτελεί έκφραση της Ευρω–Μεσογειακής Συνεργασίας, περιλαμβάνει όλες τις χώρες της ΕΕ και τις μη Κοινοτικές χώρες της Μεσογείου, και ακόμη την Ιορδανία και την Μαυριτανία.



Σχήμα 6: Οπτικοποίηση της Αειφόρου Ανάπτυξης

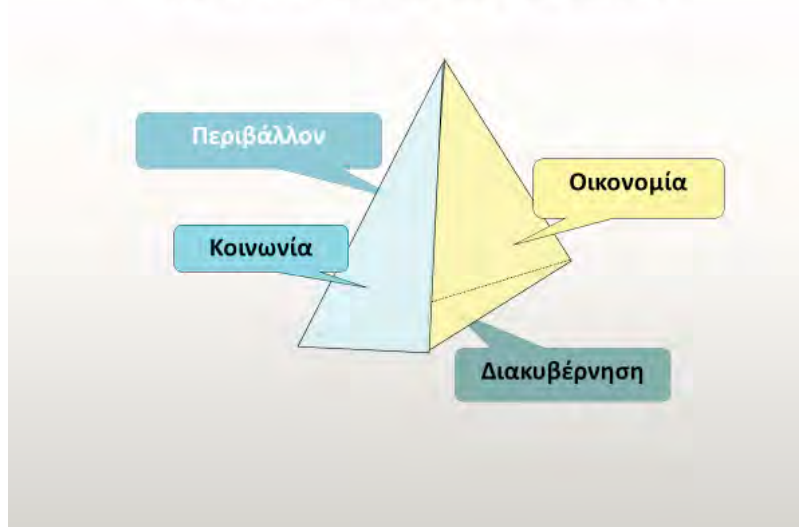
Για να αποτελέσει κοινόν στόχον πολιτικής σε επίπεδο Πολιτείας, κοινωνίας και πολιτών, η Αειφόρος Ανάπτυξη, χρειάζεται να κατανοηθεί και μάλιστα να οπτικοποιηθεί σωστά. Η συνήθης αναπαράσταση που χρησιμοποιείται συχνά στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι αυτή του Σχήματος 6, όπου η Αειφόρος Ανάπτυξη αντιστοιχεί βασικά στον κοινό τόπο των τριών κύκλων περιβάλλοντος, κοινωνίας, οικονομίας και σε πολύ μικρότερο βαθμό, εκεί που τέμνονται οι δύο μόνο από τους κύκλους αυτούς.



Σχήμα 7: Οπτικοποίηση της Αειφόρου Ανάπτυξης

Υπενθυμίζεται εδώ, ότι κατά την κλασσική αρχική αναφορά του “*Our Common Future*” Report στην Αειφόρο Ανάπτυξη, έχουμε τρεις «πυλώνες», οπότε έχουμε την οπτικοποίηση του Σχήματος 7, χωρίς, μάλιστα, αναφορά σε θεμέλιο.¹² Το θεμέλιο αυτό το αναπτύξαμε εμείς πρώτα στην Παγκόσμια Σύνοδο της UNESCO το 1997 στην Θεσσαλονίκη, ξεκινώντας από την Εκπαίδευση ως θεμέλιο. Στην συνέχεια, αντικαθιστώντας την Εκπαίδευση από την Διακυβέρνηση, μια από τις τρεις κύριες παραμέτρους της οποίας είναι η Παιδεία.

Η Αειφόρος Ανάπτυξη ως τετράεδρο

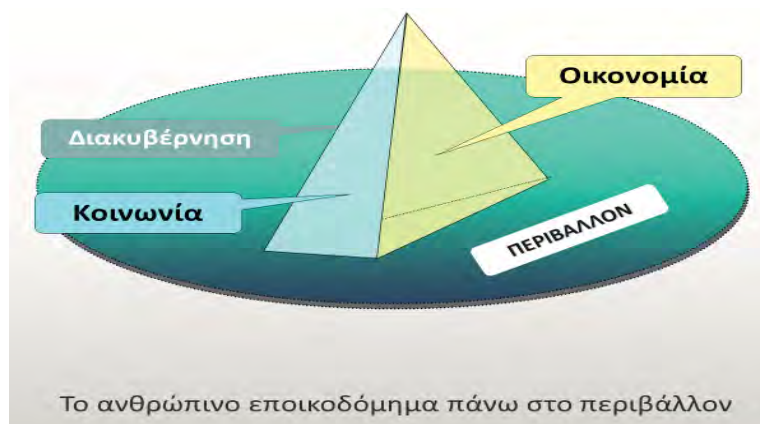


Σχήμα 8: Οπτικοποίηση της Αειφόρου Ανάπτυξης

Εμείς επίσης εισαγάγαμε την εναλλακτική οπτικοποίηση της Αειφόρου Ανάπτυξης στο προσφιλές, στους χημικούς, τετράεδρο με βάση την διακυβέρνηση (Σχήμα 8). Η οπτικοποίηση αυτή αποτελεί σήμερα προσέγγιση που έχει υιοθετηθεί σε σειρά επισήμων κειμένων του ΟΗΕ, των οποίων είχαμε την συγγραφική ευθύνη.¹³ Η αειφόρος λοιπόν ανάπτυξη είναι αυτή που μπορεί να διαφέρει από χώρα σε χώρα ή από τόπο σε τόπο ή και να εξελίσσεται μέσα στον χρόνο, αλλά πάντοτε με την προϋπόθεση ότι συντελείται εντός του τετραέδρου και όχι σε περιοχές, π.χ. της οικονομίας που εκτείνονται «πέραν της επαφής» με το υπόλοιπο σύστημα.

12 Scoullos M. (ed), 1998, “*Environment and Society: Education and public awareness for sustainability*”, Proceedings of the Thessaloniki International Conference organized by UNESCO and the Government of Greece, pp. 862 ISBN: 960-86312-0-3

13 UNESCO. 2013. Education for Sustainable Development (ESD) in Biospheres Reserves and other Designated Areas: A Resource Book for Educators in South-Eastern Europe and the Mediterranean. ISBN: 978-92-3-001120-8. UNEP/MAP-PAP/RAC, GWP-Med and UNESCO-IHP. 2015. An Integrative Methodological Framework (IMF) for coastal, river basin and aquifer management. M. Scoullos (ed.). Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystems (MedPartnership). Split, Croatia. ISBN: 978-953-6429-67-7.



Σχήμα 9: Το ανθρώπινο εποικοδόμημα πάνω στο περιβάλλον

Αν γυρίσουμε το τετράεδρο πάνω στην έδρα του φυσικού περιβάλλοντος (Σχήμα 9), βλέπουμε μια άλλη μορφή της ανθρωπόσφαιρας, το Ανθρώπινο Εποικοδόμημα, με την κοινωνία, την οικονομία και την διακυβέρνηση, που υπενθυμίζει αλλά και εμβαθύνει στην αρχική προσέγγιση της “*Limits to Growth*”.

Αναλύοντας τα «εργαλεία» της Διακυβέρνησης (Σχήμα 10), τρεις κατηγορίες προκύπτουν αβίαστα: οι Θεσμοί (Νομοθεσία, Δημόσια Διοίκηση, κλπ.), η Επιστήμη και Τεχνολογία, μέσω των οποίων αυξάνουμε σημαντικά την φέρουσα ικανότητα των οικοσυστημάτων και των ανθρωπογενών συστημάτων (πόλεων, κλπ.) και η Εκπαίδευση / Παιδεία / Ενημέρωση και προώθηση κατάλληλης «Κουλτούρας» για την υιοθέτηση της Αειφόρου Ανάπτυξης.



Σχήμα 10: Ανάλυση της Διακυβέρνησης

Ο συνδυασμός των δυο τετράεδρων, μας δίνει την άλλη, προσφιλή στους χημικούς, ορυκτολόγους, κλπ, δομή του εξαέδρου (Σχήμα 11), για την οπτικοποίηση της Αειφόρου Ανάπτυξης και των μέσων επίτευξής της, που αποτελεί ριζικό εργαλείο κατανόησης των στόχων της Αειφόρου Ανάπτυξης που ακολουθούν.



Σχήμα 11: Οπτικοποίηση της Αειφόρου Ανάπτυξης και των εργαλείων επίτευξής της

Οι Στόχοι της Αειφόρου Ανάπτυξης του ΟΗΕ/ Sustainable Development Goals (SDGs).

Στο Σχήμα 12, παρουσιάζονται οι 17 στόχοι του ΟΗΕ για την Αειφόρο Ανάπτυξη. Η κωδικοποίησή τους αποτελεί ένα από τα πλέον ελπιδοφόρα αποτελέσματα της Διεθνούς Συνεργασίας και Διπλωματίας για το καλό του πλανήτη, γιατί τους αποδέχτηκαν ομοφώνως, όλες ανεξαιρέτως οι χώρες του ΟΗΕ. Υπήρξαν, λόγω εσωτερικών πολιτικών αλλαγών, κάποιες, μερικές υπαναχωρήσεις μεγάλων χωρών, σε κάποιον βαθμό, που ευτυχώς και πάλι ευθυγραμμίστηκαν πλήρως. Καλύπτουν το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, αναπτυξιακών και κοινωνικών, με περιβαλλοντικές επιπτώσεις και περιλαμβάνουν 169 υποστόχους, οι περισσότεροι από τους οποίους διασυνδέονται πολλαπλά.



Σχήμα 12: Οι Στόχοι της Αειφόρου Ανάπτυξης

Στόχοι Αειφόρου Ανάπτυξης και Ευρωπαϊκή Ένωση

Όπως αναφέρθηκε ήδη, πολλές χώρες έθεσαν την επίτευξη των Στόχων αυτών στο επίκεντρο της Εθνικής τους Πολιτικής. Αυτό έκανε πάνω από όλους και η Ευρωπαϊκή Ένωση, έστω και αν μερικά της Μέλη δεν έχουν ακόμη προσαρμοστεί ικανοποιητικά. Για την επίτευξη των SDGs, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει σειρά Στρατηγικών, όπως:

- την Ευρωπαϊκή Στρατηγική για την Ενσωμάτωση των Ενεργειακών Συστημάτων
- την Στρατηγική για την Βιοποικιλότητα 2030.
- τους «μετασχηματισμούς» (Πράσινο και Ψηφιακό).
- την Πράσινη Συμφωνία (Green Deal, 2019)
- την (πολύ πρόσφατη - 2/2021) Ευρωπαϊκή «*Νέα Agenda για την Μεσόγειο*»

«Μια νέα Agenda για τη Μεσόγειο» (9/2/2021)

Η Κοινή Ανακοίνωση με τίτλο «*Μια νέα Ατζέντα (Θεματολόγιο) για την Μεσόγειο*» είναι ένα από μακρού αναμενόμενο, φιλόδοξο κείμενο πολιτικής με στόχο την ενίσχυση της Εταιρικής σχέσης μεταξύ της ΕΕ και των Μεσογειακών γειτόνων της, βασισμένο, για πρώτη φορά, στο σύνολο των εργαλείων της ΕΕ και τις μεγάλες ευκαιρίες που παρέχει ο συνδυασμός του Πράσινου και του Ψηφιακού Μετασχηματισμού, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις προβλέψεις για ενίσχυση της ανάκαμψης μετά τον COVID-19.

Ίσως, το πιο σημαντικό στοιχείο αυτής της Ατζέντας, είναι η προσπάθεια αντιμετώπισης των σοβαρών παλαιών, νέων και αναδυόμενων προβλημάτων της περιοχής με έναν συνδυαστικό και ολοκληρωμένο τρόπο, και σε ένα πνεύμα αληθινής εταιρικής σχέσης και κοινής αλλά διαφοροποιημένης ευθύνης των εταίρων, προσδιορίζοντας επίσης τα βασικά μέσα που απαιτούνται για την εφαρμογή της και ειδικότερα την επεξεργασία ενός *Οικονομικού και Επενδυτικού Σχεδίου* για τους Νότιους Γείτονες μας στην Μεσόγειο.

Οι πέντε τομείς προτεραιότητας που καλύπτονται από την Ατζέντα, περιλαμβάνουν:

Την ανθρώπινη ανάπτυξη, χρηστή διακυβέρνηση και κράτος δικαίου, όπου η ενδυνάμωση του ρόλου και η απασχόληση των νέων συνδέονται στενά με βελτιωμένα συστήματα εκπαίδευσης και κατάρτισης, σε όλες τις βαθμίδες· την ενίσχυση της παρουσίας των γυναικών σε όλα τα προγράμματα συνεργασίας σύμφωνα με το αντίστοιχο Σχέδιο Δράσης της ΕΕ για τις γυναίκες· και την ενίσχυση του ρόλου των νέων, ενώ οι Οργανώσεις της Κοινωνίας των Πολιτών και οι λοιποί κοινωνικοί

εταίροι, αναγνωρίζονται ως βασικοί καταλύτες στην διαμόρφωση και παρακολούθηση των προγραμμάτων της ΕΕ.

Την ενίσχυση της ανθεκτικότητας, την οικοδόμηση ευημερίας και την ενδυνάμωση της ψηφιακής μετάβασης, συμπεριλαμβανομένης και της ισχυρότερης χρήσης του *Ευρώ* στην περιοχή, σε συνδυασμό με την ανανέωση της δέσμευσης της ΕΕ για ένα βελτιωμένο επιχειρηματικό κλίμα.

Την ειρήνη και ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης και περιορισμού διενέξεων και συγκρούσεων, όπου η ΕΕ εξακολουθεί να είναι η κύρια πηγή ανθρωπιστικής και αναπτυξιακής βοήθειας στην Μεσόγειο (και παγκοσμίως), προωθώντας, μεταξύ άλλων θεμάτων, την αναζωογόνηση των πολυμερών σχέσεων στο σύστημα των Ηνωμένων Εθνών.

Την αντιμετώπιση της μετανάστευσης και της κινητικότητας με βάση την αλληλεγγύη και τον επιμερισμό των παγκόσμιων ευθυνών, αντιμετωπίζοντας, στο μέτρο του δυνατού, τις βασικές αιτίες της παράνομης μετανάστευσης και των εξαναγκασμένων μετακινήσεων / εκτοπισμού ατόμων και ομάδων, την καταπολέμηση της εκμετάλλευσης γυναικών και ανηλίκων, και την καταπολέμηση εγκληματικών δικτύων και διαφθοράς.

Την Πράσινη «μετάβαση»: ενισχύοντας την ανθεκτικότητα ανθρώπινων και φυσικών συστημάτων και την προσαρμογή τους στην κλιματική αλλαγή, αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι η Νότια Γειτονία της ΕΕ είναι ένα από τα επίκεντρα της κλιματικής αλλαγής παγκοσμίως, αλλά ταυτόχρονα διαθέτει μερικούς από τους πιο σημαντικούς ηλιακούς και αιολικούς ενεργειακούς πόρους στον κόσμο. Η πρόθεση της ΕΕ για να συνεργαστεί στενότερα με τους νότιους γείτονες για την επίτευξη φιλοδοξιών / στόχων σε ό,τι αφορά στο κλίμα προφανώς βασίζεται, αλλά και υπερβαίνει, την εφαρμογή της Ατζέντας του 2030 για την Αειφόρο Ανάπτυξη καθώς και την Συμφωνία των Παρισίων και τους διεθνώς συμφωνημένους στόχους για την βιοποικιλότητα.

Σε μια τέτοια συνεργασία, ο ρόλος των Κοινοτικών Μεσογειακών χωρών είναι προφανώς σημαντικός, και θα εξαρτηθεί από την ετοιμότητά τους και την τεχνογνωσία που διαθέτουν.

Η δήλωση, ότι «η ΕΕ θα χρησιμοποιήσει όλα τα μέσα της για να εξασφαλίσει την ουσιαστική, αποτελεσματική, ταχεία και εξατομικευμένη εφαρμογή της νέας Ατζέντας» είναι σαφής, απλή και μία από τις ισχυρότερες που αφορούν στην περιοχή της Μεσογείου. Εξίσου σαφής είναι η δήλωση, ότι «το επίπεδο της οικονομικής στήριξης θα είναι ανάλογο με τις φιλοδοξίες και την δέσμευση κάθε εταίρου»· παρόλο ότι δεν αναφέρεται ως «προϋπόθεση / όρος» (“conditionality”), αφορά σαφώς στην εφαρμογή των αναγκαίων θεσμικών μεταρρυθμίσεων στις χώρες που θα ευεργετηθούν. Η αναφορά σε ενδεχόμενες συναντήσεις Αρχηγών

Κρατών και Κυβερνήσεων δείχνει την πολιτική προτεραιότητα / φιλοδοξία και το επίπεδο των αντίστοιχων προσδοκιών.

Η Ατζέντα θα καθοδηγήσει την διμερή, περιφερειακή και διαπεριφερειακή συνεργασία της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Γειτονίας και Διεθνούς Συνεργασίας (NDICI). Για την περίοδο 2021-2027, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτείνει την μόχλευση 7 δισεκατομμυρίων € στο πλαίσιο του NDICI, το οποίο υπολογίζεται ότι θα συμβάλει στην κινητοποίηση ιδιωτικών και δημόσιων επενδύσεων έως και € 30 δισεκατομμυρίων στην Μεσόγειο.

Η Ατζέντα για την Μεσόγειο και η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (EU Green Deal)

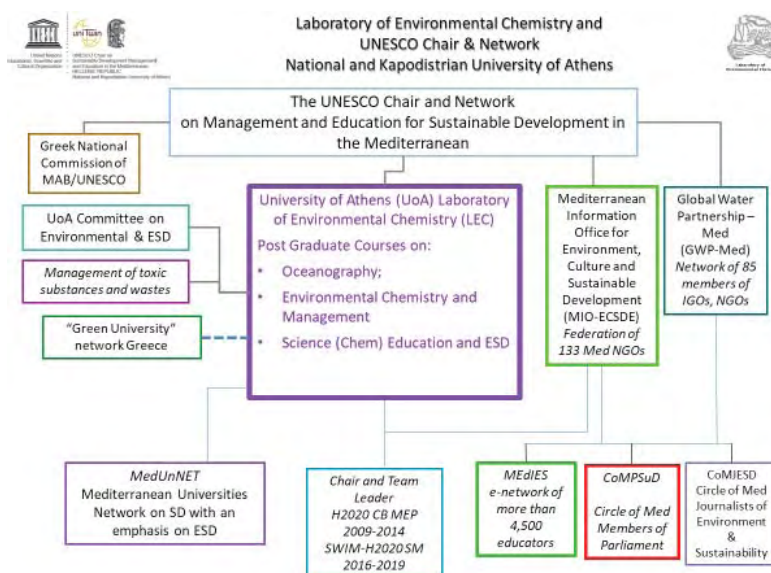
Σημαντική είναι η αναφορά της Ατζέντας στην υποστήριξη που θα μπορούσε να προσφέρει η εξωτερική διάσταση της *Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας* στον χειρισμό και την διακυβέρνηση του κλίματος και του περιβάλλοντος και την σύνδεσή τους με τα δημόσια οικονομικά, τις δημοσιονομικές πρωτοβουλίες και την παρακολούθηση των στόχων της Αειφόρου Ανάπτυξης. Σε αυτό περιλαμβάνεται η τιμολόγηση του άνθρακα, η τεχνική βοήθεια για την επιβολή της νομοθεσίας, αλλά και η Διαχείριση με ενδεδειγμένη σύνδεση πρωτογενούς επιστημονικής γνώσης, έρευνας και τεχνολογίας, και η Εκπαίδευση. Πάντα, πλέον, στην Εκπαίδευση πρέπει να περιλαμβάνεται ως αναπόσπαστο τμήμα της η Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη (ΕΑΑ) σε όλες τις βαθμίδες της Εκπαίδευσης, αλλά και η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας, ως παράγοντες αλλαγής. Η Έδρα UNESCO και το Δίκτυο για την Διαχείριση και Εκπαίδευση της Αειφόρου Ανάπτυξης στην Μεσόγειο, στο ΕΚΠΑ, που περιλαμβάνει σοβαρούς οργανισμούς όπως το MIO-ECSDE, το MEDIES, το COMPSUD, το GWP-Med, έχει επενδύσει πολλές προσπάθειες για πολλά χρόνια για να αναγνωριστεί, σε όλα τα επίπεδα (βλ. Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Η Μεσογειακή Στρατηγική για την ΕΑΑ και η επίσημη υιοθέτηση της.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί, ότι η Έδρα και το Δίκτυο UNESCO, έχει ετοιμάσει, με στήριξη του προγράμματος Horizon 2020 CB/Mediterranean Action Programme, την Μεσογειακή Στρατηγική για την Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη (ΕΑΑ) (βλέπε Σχήμα 14),¹⁴ που έγινε δεκτή από τους Υπουργούς Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής της Ένωσης για την Μεσόγειο το 2014 στην Αθήνα, παρουσιάστηκε ως υπόδειγμα Περιφερειακής Στρατηγικής στην Διεθνή Διάσκεψη της UNESCO στην Ναγκόγια της Ιαπωνίας, στο κλείσιμο της Δεκαετίας του ΟΗΕ για την ΕΑΑ, ενσωματώθηκε στην Μεσογειακή Στρατηγική για την Αειφόρο Ανάπτυξη, κάτω από την Συνθήκη της Βαρκελώνης του UNEP/MAP το 2016. Επίσης ετοίμασε το Πρόγραμμα Δράσης της Μεσογειακής Στρατηγικής¹⁵ που υιοθετήθηκε από τους Υπουργούς Παιδείας της Μεσογείου, τον Δεκέμβριο του 2016 στην Κύπρο.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι, ότι η Έδρα και το Δίκτυο, παρέχουν την Μόνιμη Γραμματεία της Μεσογειακής Επιτροπής για την Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη (Mediterranean Committee on ESD) (MCESD), στην οποία μετέχουν όλοι οι σημαντικοί Διεθνείς Οργανισμοί που δραστηριοποιούνται στην Μεσόγειο σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος, παιδείας και Αειφόρου Ανάπτυξης (UNESCO, UNEP/MAP, UNECE, UfM, League of Arab States/LAS), με πολυσχιδές εκπαιδευτικό και επιμορφωτικό πρόγραμμα, θερινά πανεπιστήμια, Διεθνή Συνέδρια, εκδόσεις, κλπ.



Σχήμα 14

14 https://medies.net/wp-content/uploads/2019/12/MSESD_brochure.pdf

15 https://medies.net/wp-content/uploads/2020/01/Action_Plan_ALL_Languages.pdf

Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (EU Green Deal)

Η Συμφωνία αυτή στοχεύει πρωτίστως στις ίδιες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε μια Ευρώπη κλιματικά ουδέτερη έως το 2050, την τόνωση της οικονομίας μέσω της πράσινης τεχνολογίας, την δημιουργία αειφόρου βιομηχανίας και αειφορικών μεταφορών με παράλληλη *μηδενική* ρύπανση (zero pollution), που αποτελεί στόχο δύσκολο αλλά εφικτό και στον οποίο η συμβολή των Θετικών Επιστημών της Χημείας και της Τεχνολογίας αναμένεται να είναι καθοριστικής σημασίας.¹⁶

Πρέπει να επισημανθεί, ότι το Πρόγραμμα Δράσης της Κυκλικής Οικονομίας (2020), από επιστημονικής πλευράς, είναι σε μεγάλο βαθμόν ευθυγραμμισμένο, με την αρχή της «Πράσινης Χημείας»,¹⁷ ενώ από κοινωνικοοικονομικής πλευράς, με τον Μηχανισμό Δίκαιης Μετάβασης. Ο μηχανισμός αυτός, ως μέρος του επενδυτικού σχεδίου για την Αειφόρο Ευρώπη (συχνά αναφερόμενος και ως ο «Δίκαιος Μεταβατικός Μηχανισμός»), προβλέπεται να κινητοποιήσει τουλάχιστον 100 δισεκατομμύρια €, για την παροχή στοχοθετημένης υποστήριξης σε περιφέρειες, εργαζόμενους και τομείς που επηρεάζονται περισσότερο από τις μεταβάσεις / μεταβολές που συνεπάγεται η πράσινη οικονομία (π.χ. κλείσιμο θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ενέργειας).

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία είναι ο χάρτης πορείας για να επιτύχουμε την βιωσιμότητα της οικονομίας της ΕΕ. Αυτό θα συμβεί, αν καταφέρουμε να μετατρέψουμε τις κλιματικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις σε ευκαιρίες, πράγμα που απαιτεί επιτάχυνση πολύ καλής ποιότητας επιστήμης και τεχνολογίας και ουσιαστική σύνδεσή τους με όλους τους τομείς πολιτικής ώστε να επιτύχουμε γρήγορη και αποτελεσματική μετάβαση σε αειφόρο ανάπτυξη, δίκαιη για όλους και χωρίς αποκλεισμούς.

Η ΕΕ σκοπεύει να είναι κλιματικά ουδέτερη το 2050. Αυτό σημαίνει μεγάλες επενδύσεις σε έρευνα στις θετικές επιστήμες και την τεχνολογία, αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς. Αναμένεται, σχετικά σύντομα, ένας *Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα*,¹⁸ ο οποίος θα μετατρέψει αυτή την πολιτική δέσμευση σε νομική υποχρέωση για τις χώρες.

Για την υλοποίηση της Πράσινης Συμφωνίας θα απαιτηθεί ανάληψη δράσης άμεσα συνδεδεμένης με την επιστήμη της Χημείας και άλλων κλάδων της επιστήμης και της τεχνολογίας, και σε όλους τους τομείς της οικονομίας, όπως:

¹⁶ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

¹⁷ Anastas P. and Warner J. 2020. *Green Chemistry*. Oxford University press. ISBN-13: 978-0198506980.

¹⁸ Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080>

Επενδύσεις σε φιλοπεριβαλλοντικές τεχνολογίες παραγωγής προϊόντων, διαχείρισης αποβλήτων, ανακύκλωσης, αναχρησιμοποίησης με στόχο την κυκλική οικονομία, που το «απόβλητο» μιας διεργασίας αποτελεί πρώτη ύλη για κάποιον άλλο κλάδο.

Ο πρώτος τομέας ουσιαστικά συνδέεται άμεσα με την στήριξη της καινοτομίας στον βιομηχανικό / βιοτεχνικό τομέα.

Ανάπτυξη καθαρότερων, οικονομικότερων και περισσότερο ασφαλών για την υγεία μορφών ιδιωτικής και δημόσιας μεταφοράς.

Απαλλαγή του ενεργειακού τομέα από εκπομπές που περιέχουν άνθρακα.

Διασφάλιση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Συνεργασία με διεθνείς εταίρους για τη βελτίωση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προτύπων.

Μέσω της Πράσινης Συμφωνίας, η ΕΕ επιδιώκει να αναγνωριστεί ως παγκόσμια ηγέτιδα δύναμη στον τομέα της Αειφόρου Ανάπτυξης με δημιουργία διεθνών πράσινων συμμαχιών, θέσπιση παγκόσμιων προτύπων για την αειφόρο ανάπτυξη, και ένταξη των ζητημάτων για την σταθεροποίηση του κλίματος σε όλες τις συναφείς διεθνείς σχέσεις.

Μεταξύ των άμεσα αναμενόμενων επιπτώσεων προβλέπεται κύμα ανακαινίσεων παντός τύπου με προφανή συμβολή και πάλι των σχετικών επιστημών και της τεχνολογίας. Στόχος του κύματος ανακαινίσεων είναι να διπλασιαστεί ο ρυθμός ανακαίνισης των κτιρίων μας, ώστε να γίνουν κατάλληλα για ένα κλιματικά ουδέτερο μέλλον.

Από τα πάρα πολλά, χημικού περιεχομένου, σχετικά θέματα ταχείας ανάπτυξης αποτελούν η έμφαση στην παραγωγή, μεταφορά και αποθήκευση υδρογόνου και η χημεία του μεθανίου. Οι εκπομπές μεθανίου είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παράγοντας κλιματικής αλλαγής, μετά το διοξείδιο του άνθρακα. Η στρατηγική της ΕΕ για το μεθάνιο αποσκοπεί στην δραστική μείωση αυτών των εκπομπών, ενώ η δέσμευση και η χρήση του επίσης έχουν ενδιαφέρον. Η χημεία και η τεχνολογία στον χώρο της απαλλαγής των επεξεργασμένων αποβλήτων από ρύπους φαρμάκων, μεταβολίτες και ενώσεις που μπορούν να επηρεάσουν έστω και μακροχρόνια την ανθρώπινη υγεία (όπως δευτερογενείς οργανοχλωριωμένες ενώσεις από χλωρίωση πόσιμου νερού με ίχνη οργανωμένων ουσιών, κλπ.), παραγωγή κατάλληλων υποκατάστατων των πλαστικών κοκ, αναμένεται να δώσουν λύσεις σε πολλά κρίσιμα προβλήματα.

Συμπερασματικά, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Ανθρωπότητα είναι πλέον υπαρξιακές. Η Παγκόσμια Κοινότητα, παρά τις ιστορικές της

δυσκολίες για ομοφωνία και εγρήγορση, κατάφερε να οριοθετήσει την Αειφόρο Ανάπτυξη ως κατευθυντήριο όραμα και να συμφωνήσει ομόφωνα 17 Αναπτυξιακούς Στόχους για την επόμενη δεκαετία. Η δεκαετία αυτή είναι η πιο κρίσιμη από όσες έχουμε γνωρίσει μέχρι σήμερα στην πορεία των τελευταίων δεκαετιών μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο για να κερδίσουμε το στοίχημα της αποφυγής μετάβασης σε καταστρεπτικές μη αναστρέψιμες βιογεωχημικές μεταβολές των φυσικών μηχανισμών, με απρόβλεπτες συνέπειες για τα φυσικά και ανθρωπογενή οικοσυστήματα στο μέλλον.

Αν θέλουμε ένα βιώσιμο μέλλον, πρέπει εμείς να το εξασφαλίσουμε για εμάς και κυρίως για τα παιδιά και τα εγγόνια μας, γιατί από αυτά έχουμε δανειστεί τον κόσμο που διαχειριζόμαστε.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2021. *Global Biodiversity Outlook 5*. (ISBN-9789292256883).

De Châtel F., Holst-Warhaft G. and Steenhuis T. 2014. *Water Scarcity, Security and Democracy: a Mediterranean Mosaic*. Cornell University and GWP-Med. ISBN 978-1-4951-1550-9.

Ballabio, R., Comair, F.G., Scalet, M., Scoullou, 2015. Science diplomacy and transboundary water management: The Orontes River case. UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002330/233031M.pdf>. ISBN 978-92-3-000017-2.

Zerefos Ch., 2021. Some thoughts on the global warming effects in the Mediterranean. In the *Sustainable Mediterranean Issue on Climate Change*, 78 (in press).

Hassaan M. and Abdrabo M. 2013. *Vulnerability of the Nile Delta coastal areas to inundation by sea level rise*. *Environmental Monitoring and Assessment* 185 (8). ISSN 0167-6369.

Hoerling M., Eischeid J., Perlwitz J., Quan X., Zhang T., Pegion P., 2011. On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate*, 25, 2147-2161.

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Climate Change Impacts Study Committee. 2011. “*The Environmental, economic and social impacts of climate change in Greece*”. Bank of Greece, ISBN 978-960-7032-49-2, pp. 1-136, https://www.bankofgreece.gr/publications/ClimateChange_FullReport_bm.pdf

Climate Change Impacts Study Committee (CCISC). 2014. “*Greek tourism and climate change: adaptation policies and a new growth strategy*”. Bank of Greece. ISBN 978-960-7032-66-9, https://www.bankofgreece.gr/Publications/CCISC_Tourism%20and%20climate%20change_Fw%20Ch1.pdf

United Nations. 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>

Σκούλλος Μ. 1974. Υπερπληθυσμός – Πείνα. Νέα διάσταση στο Μαλθουσιανό πρόβλημα. Πνευματικές Σελίδες, 2, 111-131.

Σκούλλος Μ. 1976. Προτεινόμενες λύσεις οικολογικών προβλημάτων του άμεσου μέλλοντος. Πνευματικές Σελίδες, 3, 69-76.

Σκούλλος Μ. 1976. Οικολογία – Οικονομία: Η σύγκρουση και ο συμβιβασμός τους.

Πνευματικές Σελίδες, 3, 77-90.

Σκούλλος Μ. 1972. Η ηθική της επιστήμης. Πνευματικές Σελίδες, 1, 8-17.

Scoullos M. (ed), 1998, “*Environment and Society: Education and public awareness for sustainability*”, Proceedings of the Thessaloniki International Conference organized by UNESCO and the Government of Greece, pp. 862 ISBN: 960-86312-0-3

UNESCO. 2013. *Education for Sustainable Development (ESD) in Biospheres Reserves and other Designated Areas: A Resource Book for Educators in South-Eastern Europe and the Mediterranean*. ISBN: 978-92-3-001120-8.

UNEP/MAP-PAP/RAC, GWP-Med and UNESCO-IHP. 2015. An Integrative Methodological Framework (IMF) for coastal, river basin and aquifer management. M. Scoullos (ed.). Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystems (MedPartnership). Split, Croatia. ISBN: 978-953-6429-67-7.

https://medies.net/wp-content/uploads/2019/12/MSESD_brochure.pdf

https://medies.net/wp-content/uploads/2020/01/Action_Plan_ALL_Languages.pdf

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Anastas P. and Warner J. 2020. *Green Chemistry*. Oxford University press. ISBN-13: 978-0198506980.

Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080>

Η ΓΗΡΑΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ: ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

*Δεν παίζουμε επειδή γερνάμε,
αλλά γερνάμε επειδή δεν παίζουμε.*

George Bernard Shaw

Ο άνθρωπος αρχίζει να γερνάει από τη στιγμή που γεννιέται, αλλά με τόσο αργό ρυθμό, που δεν το αντιλαμβάνεται.

Τι είναι όμως γήρανση; Γήρανση είναι ένα αναπόφευκτο βιολογικό φαινόμενο μη αντιστρεπτό, που παρατηρείται στον άνθρωπο (αλλά και σε όλους τους οργανισμούς), κατά το οποίο η μορφολογία και η λειτουργία ιστών και οργάνων μειώνονται με την πάροδο του χρόνου. Η κατάληξη είναι ο θάνατος. Ο ρυθμός γήρανσης διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο. Αυτό οφείλεται στον τρόπο διαβίωσης και στο γενετικό υλικό του κάθε ατόμου. Επίσης, ο ρυθμός και ο χρόνος γήρανσης των διαφόρων οργάνων διαφέρει. Ο εγκέφαλος, παραδείγματος χάριν, αρχίζει να γερνάει στην ηλικία περίπου των 25 ετών, το ήπαρ στα 65, τα οστά στα 35.



Εικόνα 1. Η φυσιολογική πορεία του ανθρώπου προς τα γηρατειά.

Άλλο «γερνάω», άλλο «γήρας». Οι άνθρωποι γερνάνε με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή εμφανίζουν αλλοιωμένα χαρακτηριστικά, παραδείγματος χάριν, γκρίζα μαλλιά, ρυτίδες, φακίδες, χαλαρό δέρμα, αλλά και ορισμένες παθήσεις, ενώ γήρας σημαίνει ότι δεν λειτουργούν σωστά ή καθόλου διάφορα οργανικά συστήματα του ατόμου.

Η γήρανση γενικώς σχετίζεται με αρκετές ασθένειες, όπως, παραδείγματος χάριν, νεφρικές, καρδιακές, εγκεφαλικές κ.ά. Τα ηλικιωμένα άτομα είναι πιο ευάλωτα στις παθήσεις αυτές, ενώ η κακή διατροφή, η υπέρταση, η μη άσκηση, το κάπνισμα, και το στρες επιταχύνουν τη γήρανση.

Είναι αξιοσημείωτο, ότι η βιολογική ηλικία ενός ατόμου (εμφάνιση, συμπεριφορά) δεν ταυτίζεται με την ηλικία που αναγράφεται στην ταυτότητά του. Έτσι, ένα άτομο, παραδείγματος χάριν, 40 ετών, μπορεί να φαίνεται 70, ενώ ένα άτομο 70 ετών να φαίνεται 40. Αυτό οφείλεται στο γενετικό υλικό, στη διατροφή, στο περιβάλλον και στον τρόπο ζωής του καθενός.

Το προσδόκιμο επιβίωσης για μεν τους άνδρες είναι τα 80 χρόνια, για δε τις γυναίκες τα 84. Αυτό, βέβαια, εξαρτάται από τη ζωή που κάνει το κάθε άτομο.

Ιστοί και Όργανα που επηρεάζονται κατά τη γήρανση

Είναι γνωστό ότι όλα τα όργανα ενός οργανισμού δεν γερνάνε ταυτόχρονα. Η αλλαγή στο χρώμα και η ξηρότητα του δέρματος, η εμφάνιση ρυτίδων, οι φακίδες στα χέρια, τα άσπρα μαλλιά, η ελάττωση της μνήμης, η χαλάρωση των μυών, είναι σαφή συμπτώματα γήρανσης.

Ας δούμε αναλυτικότερα τους κυριότερους ιστούς και τα όργανα ενός ανθρώπινου οργανισμού, όταν γερνάει.

Νευρικό Σύστημα

Ο εγκέφαλος αρχίζει να γερνάει από την ηλικία περίπου των 25 ετών. Με την πάροδο του χρόνου το κεντρικό νευρικό σύστημα αρχίζει να εμφανίζει μεταβολές ως προς τη λειτουργία του. Αυτές οι μεταβολές σχετίζονται με τη μείωση του όγκου του εγκεφάλου και την ατροφία του φλοιού του. Αποτέλεσμα είναι η ελάττωση της μνήμης και η πρόκληση των γνωστών παθήσεων Alzheimer και Parkinson.



Εικόνα 2. Φυσιολογικός εγκέφαλος (αριστερά), με νόσο Alzheimer (δεξιά).

Καρδιαγγειακό Σύστημα

Διάφοροι παράγοντες επιταχύνουν τη γήρανση της καρδιάς. Τέτοιοι είναι η υπέρταση, η χοληστερίνη, η παχυσαρκία, ο σακχαρώδης διαβήτης, η ανθυγιεινή διατροφή, το κάπνισμα, η καθιστική ζωή και το στρες.

Σε μία «γερασμένη» καρδιά παρατηρείται σκλήρυνση των αιμοφόρων αγγείων, αλλά και πάχυνση στο τοίχωμά της. Στα ηλικιωμένα άτομα παρατηρείται συχνότερα υπέρταση, αρρυθμίες, στεφανιαία νόσος, καρδιακή ανεπάρκεια κ.ά.

Πεπτικό Σύστημα

Η γήρανση δεν έχει πολύ μεγάλη επίπτωση στο πεπτικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από διάφορα όργανα.

Εισ τον οισοφάγο παρατηρείται χαλάρωση του οισοφαγικού σφιγκτήρα και η εμφανιζόμενη οισοφαγική παλινδρόμηση γίνεται ενοχλητική.

Εισ το στομάχι ελαττώνεται η έκκριση γαστρικών υγρών, μειώνεται η χωρητικότητά του και σε αρκετές περιπτώσεις εμφανίζεται πεπτικό έλκος.

Μερικές δομικές αλλαγές παρατηρούνται εισ το παχύ έντερο με αποτέλεσμα την πρόκληση δυσκοιλιότητας.

Το λεπτό έντερο δεν επηρεάζεται σημαντικά. Σε ορισμένες περιπτώσεις άτομα εμφανίζουν δυσανεξία στη λακτόζη.

Το πάγκρεας χάνει λίγο από το βάρος του, χωρίς να μειώνεται η έκκριση πεπτικών ενζύμων. Σε μερικά άτομα παρατηρείται δυσανεξία στη γλυκόζη.

Πνεύμονες

Οι πνεύμονες λαμβάνουν την τελική τους διάσταση στην ηλικία περίπου των 30 ετών. Με την πάροδο των χρόνων επέρχονται δομικές μεταβολές στο τοίχωμα του θώρακος, με αποτέλεσμα τη μη ομαλή ανταλλαγή αερίων στις κυψελίδες των.

Οστά, Μύες

Τα οστά συρρικνώνονται σε μέγεθος, χάνουν την πυκνότητά τους, επειδή χάνουν ποσότητα της μάζας τους. Αποτέλεσμα είναι σε μερικά άτομα να εμφανίζεται οστεοπόρωση ή αρθρίτιδα.

Η γήρανση των μυών εμφανίζεται με ελάττωση της μάζας, χαλάρωση και δυσκολία στις κινήσεις. Η έλλειψη σωματικής άσκησης, η έλλειψη βιταμίνης D, η καθιστική εργασία, προκαλούν ταχύτερα τη μυϊκή γήρανση.

Όραση

Με την πάροδο των ετών εμφανίζονται ορισμένες παθήσεις όπως, παραδείγματος χάριν, καταρράκτης, γλαύκωμα, εκφύλιση ωχράς κηλίδας, πρεσβυωπία. Η έγκαιρη διάγνωση αυτών των παθήσεων μπορεί να προλάβει την επιδείνωσή των. Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι ένας αόρατος εχθρός για την όραση. Η ρετίνα γίνεται λεπτότερη, ο δε φακός λιγότερο καθαρός.

Νεφρά

Τα νεφρά συνήθως δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές λόγω γηράνσεως. Η νεφρική λειτουργία σε ορισμένα άτομα όμως μειώνεται, λόγω μειωμένης ροής αίματος στα νεφρά. Διάφορες παθήσεις, όπως, παραδείγματος χάριν, ο σακχαρώδης διαβήτης, η υπέρταση, αλλά και καρδιαγγειακές παθήσεις, είναι ικανές να προκαλέσουν δυσλειτουργία των νεφρών.

Γεννητικό Σύστημα

Τα γεννητικά όργανα, όπως όλα τα οργανικά συστήματα, εμφανίζουν το φαινόμενο της γήρανσης.

Εις τα θηλυκά άτομα εμφανίζεται κυρίως ξηρότητα του κόλπου, ενώ ο βλεννογόνος λεπταίνει. Τοιουτοτρόπως, εμφανίζεται σεξουαλική δυσλειτουργία, αλλά και ψυχολογική επιβάρυνση.

Εις τους άνδρες από την ηλικία των 65-70 ετών εμφανίζεται συνήθως στυτική δυσλειτουργία.

Η τυχόν φαρμακευτική αγωγή λόγω διαφόρων παθήσεων, καθώς και η ψυχολογική κατάσταση, παίζουν σημαντικό ρόλο στη σεξουαλική συμπεριφορά των ατόμων.

Βαρηκοΐα

Η ακοή οφείλεται στις παλμικές κινήσεις που προκαλούνται από τα ηχητικά κύματα στο τύμπανο του αυτιού. Με την πάροδο του χρόνου το τοίχωμα του αυτιού γίνεται λεπτότερο, ενώ το δέρμα χάνει την ελαστικότητά του.

Η αύξηση της ηλικίας επιφέρει μείωση της ακοής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πρεσβυακουσία.

Εκτός από την ηλικία του ατόμου, γενετικοί παράγοντες, χρόνιες παθήσεις και έκθεση σε δυνατούς ήχους για μεγάλα χρονικά διαστήματα συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της ακοής.

Γήρανση Δέρματος

Αυτή οφείλεται σε ενδογενείς παράγοντες, αλλά και εις το περιβάλλον.

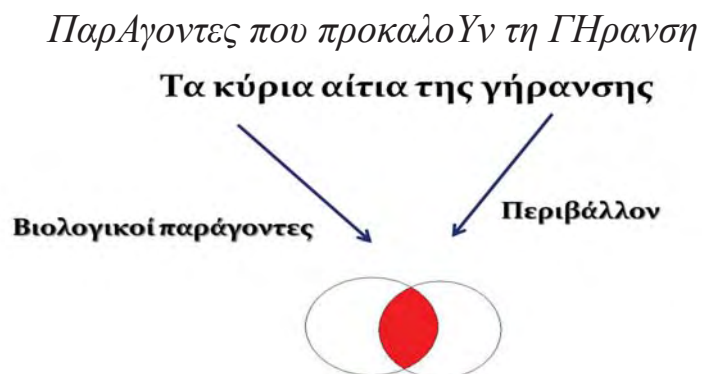
Οι ενδογενείς παράγοντες ευθύνονται για την διαδικασία φθοράς καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής, και ελέγχονται από συγκεκριμένα γονίδια. Αυτά, σε συνεργασία με το περιβάλλον, κυρίως κλιματολογικές συνθήκες, παραδείγματος χάριν, έκθεση στον ήλιο, κάπνισμα, προκαλούν την εμφάνιση ρυτίδων και φακίδων, πλαδαρού δέρματος, ξηρότητα και γκρίζα μαλλιά.



Εικόνα 3. Γερασμένο δέρμα.

Παρατηρείται, επίσης, μείωση κολλαγόνου και υαλουρονικού οξέος, τα οποία κυρίως ευθύνονται για την εμφάνιση του δέρματος.

Πολλά Βιολογικά, Χημικά, και Βιοτεχνολογικά προϊόντα, αλλά και κατάλληλα όργανα χρησιμοποιούνται στα Κέντρα Αισθητικής με σκοπό την καλύτερη εμφάνιση του προσώπου και του σώματος.



Εικόνα 4. Τα κύρια αίτια της γήρανσης.

Βιολογικοί παράγοντες

Βλάβες στο γενετικό υλικό (DNA)

Ακτινοβολίες και χημικές ουσίες προκαλούν μεταλλάξεις στα γονίδια, τα οποία ευθύνονται είτε για το διπλασιασμό είτε για τη διαδικασία «επισκευής» του DNA.



Εικόνα 5. Βλάβες στο DNA

Τα Μιτοχόνδρια

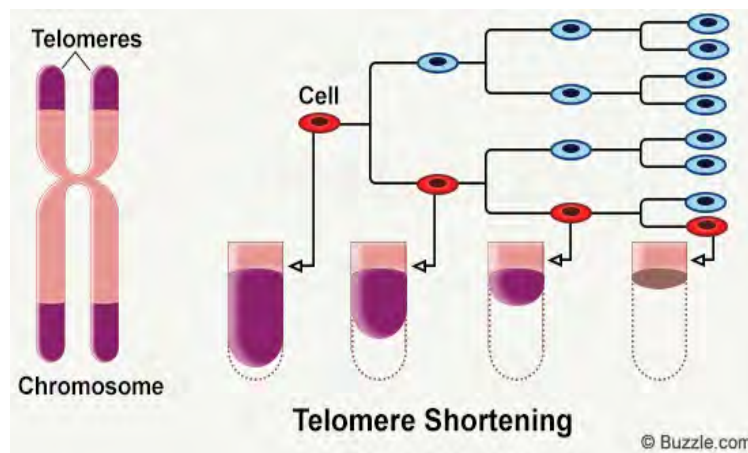
Είναι υπεύθυνα για την παραγωγή ενέργειας, απαραίτητης για τη διαβίωση του κυττάρου.

Η δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων θεωρείται ότι συμβάλλει στην επιτάχυνση της γήρανσης.

Τα Τελομερή

Είναι τα άκρα των χρωμοσωμάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι αυτά βραχύνονται σε κάθε κυτταρική διαίρεση. Συνεπώς, τα νεώτερα κύτταρα θα έχουν βραχύτερα τελομερή, έναντι των παλαιότερων κυττάρων. Το γεγονός αυτό θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες της γήρανσης.

Η βράχυνση επίσης των τελομερών σχετίζεται άμεσα με την εμφάνιση πολλών παθήσεων, όπως παραδείγματος χάριν, της στεφανιαίας νόσου και του διαβήτη.



Εικόνα 6. Βράχυνση των τελομερών.

Οι Πρωτεΐνες

Υπό μορφή ενζύμων, ορμονών ή δομικών συστατικών, είναι βασικότατο στοιχείο των κυττάρων, των ιστών και των οργάνων.

Τυχόν αλλαγές στη δομή και την λειτουργία των πιθανόν να επιταχύνει τη γήρανση, προκαλώντας ταυτόχρονα και ορισμένες νόσους.

Οι πρωτεΐνες στην διατροφή μας, επιβραδύνουν την μείωση της μυϊκής μάζας, που επέρχεται λόγω γήρανσης.

Τα Βλαστικά Κύτταρα

Είναι ανώριμα, αδιαφοροποίητα εμβρυϊκά κύτταρα, τα οποία μπορούν να διαφοροποιηθούν προς συγκεκριμένες κατηγορίες κυττάρων. Με την πάροδο του χρόνου χάνουν αυτή την ικανότητα. Το αποτέλεσμα είναι, ότι ένας συγκεκριμένος ιστός ή όργανο να μην μπορεί να ανανεωθεί και συνεπώς να γεράσει.



Εικόνα 7. Βλαστικό κύτταρο.

Οξειδωτικό στρες

Είναι η φθορά, που προκαλείται στον οργανισμό μας μέσω των ελευθέρων ριζών, οι οποίες είναι προϊόντα μεταβολισμού. Οι ελεύθερες ρίζες αυξάνονται με το κάπνισμα, την κακή διατροφή, το αλκοόλ, το άγχος. Αύξηση των ελευθέρων ριζών στον οργανισμό προκαλεί το οξειδωτικό στρες, το οποίον αποτελεί ένα από τα κυριότερα αίτια της γήρανσης.

Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Περιβάλλον

Η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλίου προκαλεί έντονη γήρανση του δέρματος. Οι κλιματικές συνθήκες, υγρά και ξηρά κλίματα, επηρεάζουν επίσης την εμφάνιση σημείων γήρανσης.



Εικόνα 8. Ατμοσφαιρική ρύπανση.

Διατροφή

Η υγιεινή διατροφή επιβραδύνει τον ερχομό της γήρανσης, ενώ ταυτόχρονα τα όργανα του ατόμου λειτουργούν καλύτερα.

Εργασία

Η χειρωνακτική εργασία, έναντι της εργασίας γραφείου, επιφέρει γρηγορότερα σημεία γήρανσης. Οι αγρότες, παραδείγματος χάριν, φαίνονται πιο γέροι έναντι των ανθρώπων των πόλεων.

Τρόπος διαβίωσης

Σημαντικό ρόλο στην επερχόμενη γήρανση παίζει ο τρόπος που ζούμε. Η κατάχρηση, παραδείγματος χάριν, ποτών, τροφής, η μη άθληση, το κάπνισμα, το στρες, προκαλούν την ταχύτερη εμφάνιση φαινομένων γήρανσης.

Αντι-γήρανση

Επειδή η γήρανση δεν είναι ασθένεια, δεν θεραπεύεται. Αυτό που μπορούμε όμως να κάνουμε είναι σωστή διαβίωση κατά την διάρκεια της ζωής μας, ώστε να επιβραδύνουμε τον ερχομό της.

Δυστυχώς, οι μεταβολές που συμβαίνουν σε ιστούς και όργανα ενός ατόμου δεν αναστρέφονται. Δεν μπορούμε, παραδείγματος χάριν, να αποκαταστήσουμε μία αλλαγή που παρατηρείται στον εγκέφαλο ή στους μύες λόγω γήρανσης.

Αντιθέτως, μπορούμε να επαναφέρουμε, κάπως, στη φυσική κατάσταση, έστω και προσωρινά, την επιδερμίδα ενός γερασμένου προσώπου, καταφεύγοντας σε Κέντρα Αισθητικής, ή χρησιμοποιώντας διάφορες κρέμες, ενέσεις υαλουρονικού οξέος, laser, ραδιοσυχνότητες κ.α.



Εικόνα 9. Πριν και μετά από επίσκεψη σε κέντρο αισθητικής.

Σημαντικές επίσης είναι οι επιστημονικές μελέτες των υπεύθυνων γονιδίων, των τελομερών, των μιτοχονδρίων, και των βλαστικών κυττάρων, προκειμένου να βρεθούν οι υπεύθυνοι μηχανισμοί του φαινομένου, ώστε να αντιμετωπιστεί έγκαιρα.

Τι περιμένουμε;

Η Γηριατρική ασχολείται με την διάγνωση, την πρόληψη και τη θεραπεία των ατόμων της τρίτης ηλικίας, ενώ ο Γεροντολόγος ασχολείται με τη διαδικασία με την οποία ένα άτομο γερνάει.

Συνεπώς, από τους ειδικούς επιστήμονες περιμένουμε:

Περαιτέρω επιστημονικές μελέτες για το ρόλο των σχετικών γονιδίων, και ορισμένων κυτταρικών οργανιδίων, τα οποία φαίνεται ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο.

Ευαισθητοποίηση του πληθυσμού για υγιεινότερο τρόπο ζωής, παραδείγματος χάριν, σωστή διατροφή, άθληση και κοινωνική συμπεριφορά.

Βελτίωση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών συνθηκών διαβίωσης ενός πληθυσμού.

Συμπέρασμα

Δεν μπορούμε να αλλάξουμε το γενετικό μας υλικό.

Δεν μπορούμε να σταματήσουμε την πορεία μας προς τα γηρατειά,

Αλλά μπορούμε να κάνουμε κατάλληλες επιλογές κατά τη διάρκεια της ζωής μας, ώστε να επιβραδύνουμε τον χρόνο που θα γεράσουμε.



Μην προσπαθήσεις να ζήσεις για πάντα,

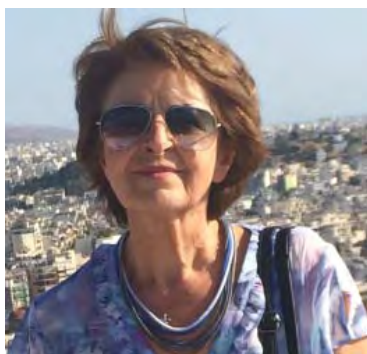
Δεν θα τα καταφέρεις.

George Bernard Shaw

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- L. Cannnon, “What causes Aging.” *Scientific Review* 2014
- L.A. Loeb et al., “The Mitochondrial theory of aging.” *PNAS* 2005
- D. Kotz, *US News* 2010
- “Aging. Overview.” *Harvard Health Topics* 2019
- L. Palmer et al., *What really causes aging*. Personal communication 1996
- St. Liochev, “Which is the most significant causes of aging.” *POMS, NIH* 2015
- N. Ταβερναράκης, “Γιατί Γερνάμε.” *Εθνικός Κήρυξ* 2019
- N. Ταβερναράκης, “Τα μυστικά των Μιτοχονδρίων.” *Καθημερινή* 2019
- B. Conaway, *Aging and digestive health*. Personal communication.
- A. Alhadlap, J.J. Mao, “Mesenchymal Stem Cell.” *Stem Cell Development* 13, 2004
- N. Κατσιγιάννης. Προσωπική ανακοίνωση.
- V.I. Titorenko, “Molecular and Cellular Mechanisms of Aging and Age-related Disorders.” *Int. Mol. Sci.* 2018
- J.W. Rowe, R.L. Lahn, *Human aging: Usual and successful Science* 1987
- D. Tam et al., “Benefits and limitations of genome-wide association studies.” *Nat. R. Genet.* 2019

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΤΩΝ ΟΜΙΛΗΤΩΝ



ΜΑΡΙΑ ΦΡΑΓΚΟΥΛΟΠΟΥΛΟΥ

Πτυχίο από το Τμήμα Μαθηματικών του ΕΚΠΑ.
Μεταπτυχιακές σπουδές (M.Sc.) στα θεωρητικά
μαθηματικά από το Πανεπιστήμιο του Newcastle
Upon Tyne στην Αγγλία (υπότροφος του NATO Science Fellowship
Program).

Διδακτορικό δίπλωμα στα Θεωρητικά Μαθηματικά (ΕΚΠΑ).

Υπηρέτησε σε όλες τις καθηγητικές βαθμίδες του Τμήματος
Μαθηματικών του ΕΚΠΑ, από το 1970 έως το 2013.

Περιοχές ερευνητικού ενδιαφέροντος:

Τοπολογικές άλγεβρες με ή χωρίς ενέλιξη. Άλγεβρες φραγμένων και
μη φραγμένων τελεστών σε χώρους Hilbert. Θεωρία αναπαραστάσεων.

Επισκέψεις σε Πανεπιστήμια του Εξωτερικού:

Cambridge, Αγγλία: 4 μήνες (1979-80)

Maryland, USA: 5 μήνες (1987)

Münster, Γερμανία: 3 μήνες (1987), 6 μήνες (1991, υποτροφία DAAD),
3 μήνες (1995, Gastprofessur des Landes NRW)

Fukuoka, Ιαπωνία: 6 φορές από ένα μήνα (2001–2014), και 1 φορά ένα
τρίμηνο (2010), με πλήρη κάλυψη εξόδων για διαλέξεις και συνεργασία με
τον A. Inoue.

Palermo, Ιταλία: Δύο 15ήμερα και αρκετά 7ήμερα, με κάλυψη εξόδων
για διαλέξεις και συνεργασία με C. Trapani.

Διδασκαλία μικρής διάρκειας μεταπτυχιακών μαθημάτων σε Fukuoka
και Palermo.

22 διαλέξεις στο εξωτερικό μετά από πρόσκληση και με κάλυψη εξόδων.

Συμμετοχή σε 47 επιστημονικά συνέδρια μετά από πρόσκληση και με
ολική ή μερική κάλυψη εξόδων.

49 Δημοσιεύσεις σε περιοδικά.

Βιβλία: 1 στα Ελληνικά (Εκδόσεις Συμμετρία, 1994), 3 στην Αγγλική:
North-Holland 2005, Springer (με C. Trapani) 2020, και ένα που έχει
υποβληθεί (με A. Inoue, M. Weigt, I. Zarakas).

Αναφορές: 659 (πηγή: Google Scholar)

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ



Πτυχίο από το Φυσικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών, μεταπτυχιακές σπουδές (M.Sc.) στην Επιστήμη των Υπολογιστών από το Πανεπιστήμιο Warwick της Αγγλίας και Διδακτορικό Δίπλωμα στην Πληροφορική από το Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ).

Υπηρέτησε σε διάφορες βαθμίδες ως Καθηγητής στο Φυσικό Τμήμα και μετέπειτα στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου μας από το 1977 έως το 2013 και δίδαξε πλήθος μαθημάτων στο προπτυχιακό και μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών μεταξύ των οποίων γλώσσες προγραμματισμού, λειτουργικά συστήματα, προσομοίωση διακριτών συστημάτων και ειδικά θέματα σχεδιασμού πληροφοριακών συστημάτων ηλεκτρονικής διακυβέρνησης.

Έχει δημοσιεύσει μεγάλο πλήθος επιστημονικών εργασιών σε έγκυρα διεθνή περιοδικά και συνέδρια, έχει καθοδηγήσει περισσότερες από είκοσι διδακτορικές διατριβές.

Υπήρξε επιστημονικός υπεύθυνος σε ερευνητικά προγράμματα και έχει εκπροσωπήσει τη χώρα σε ευρωπαϊκούς θεσμούς και διεθνείς οργανισμούς. Υπήρξε Διευθυντής Τομέα και Πρόεδρος του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.

Υπήρξε μέλος της Συγκλήτου και υπεύθυνος της επιτροπής για την πρώτη στα χρονικά του Πανεπιστημίου μας μαζική ηλεκτρονική ψηφοφορία μεταξύ των μελών ΔΕΠ για την ανάδειξη των μελών του Συμβουλίου Διοίκησης του Ιδρύματος.

Προσεκλήθη να υπηρετήσει ως ο πρώτος Γενικός Γραμματέας Πληροφοριακών Συστημάτων του Υπουργείου Οικονομικών την περίοδο (1997-2001) που σχεδιάστηκε και τέθηκε σε παραγωγική λειτουργία το ευρύτατα γνωστό και χρήσιμο έργο TAXIS και μετέπειτα (2002-2004) ως Γενικός Γραμματέας Δημόσιας Διοίκησης του Υπουργείου Εσωτερικών για την διασύνδεση και επέκταση σε όλη τη χώρα των Κέντρων Εξυπηρέτησης των Πολιτών (ΚΕΠ).



ΞΕΝΟΦΩΝ ΜΟΥΣΑΣ

Πρώην Καθηγητής Φυσικής Διαστήματος του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών και ένας από τους πρωταγωνιστές της μελέτης του Μηχανισμού των Αντικυθήρων.

Διετέλεσε:

Research fellow, senior visiting research fellow στο Imperial college (~20 έτη).

Επισκέπτης καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Μεξικού (τρεις φορές).

Διευθυντής του Εργαστηρίου Αστροφυσικής του Τμήματος Φυσικής (25 έτη).

Είναι Επίτιμος διδάκτωρ της Διεθνούς Ακαδημίας της Παιδείας και Επιστημών της Ουκρανίας (2017).

Έχει επιβλέψει 30 διδακτορικά (ΕΚΠΑ, Imperial College, Observatoire de Paris, Max Planck Sonnensystem, Παν. Αλεξανδρείας, Παν. Καΐρου), δεκάδες μεταπτυχιακές εργασίες, και 250 πτυχιακές εργασίες.

Έχει μετάσχει σε διαστημικά πειράματα της NASA (STEREO, WIND), ESA (Ulysses, Solar Orbiter).

Τα ερευνητικά ενδιαφέροντά του είναι ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων, η αρχαία οπτική, η Διαστημική φυσική, ο Ήλιος, οι Πλανήτες, και οι δορυφόροι τους.

Είναι μέλος του Δ.Σ. της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών.

Έχει λάβει βραβεία από την NASA και την American Geophysical Union. Έχει βραβευθεί με το Soft Power Award του Ινστιτούτου Πολιτιστικής Διπλωματίας. Επίσης έχει λάβει το Βραβείο Φροντιστών.

Έχει δώσει 500 ομιλίες, έχει διοργανώσει δεκάδες εκθέσεις ανά τον Κόσμο (NASAN, UNESCO, Μουσεία), και είναι συγγραφέας βιβλίων και άρθρων.

ΜΙΧΑΗΛ-ΜΑΡΙΟΣ ΣΚΟΥΛΛΟΣ



Ομότιμος Καθηγητής Χημείας Περιβάλλοντος και Ωκεανογραφίας στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Ιδρυτής και Διευθυντής του Εργαστηρίου Χημείας Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (2003-2017) αλλά και του κλάδου της Χημικής Ωκεανογραφίας.

Νυν, Επικεφαλής της Έδρας και Δικτύου UNESCO για την Διαχείριση & Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη στη Μεσόγειο στο ΕΚΠΑ.

Ιδρυτής και Πρόεδρος του Μεσογειακού Γραφείου Πληροφόρησης για το Περιβάλλον, τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη (MIO-ECSDE), της μεγαλύτερης Ομοσπονδίας Περιβαλλοντικών και Πολιτιστικών Οργανώσεων της Μεσογείου.

Πρόεδρος του Μεσογειακού Σκέλους της Παγκόσμιας Σύμπραξης για το Νερό-Μεσόγειος GWP-Med (Global Water Partnership - Mediterranean), που αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς Διακυβερνητικούς Οργανισμούς για το Νερό.

Πρόεδρος της Ελληνικής Εθνικής Επιτροπής MAB/UNESCO (Άνθρωπος και Βιόσφαιρα).

Συντονιστής του διεθνούς δικτύου MEdIES για την Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη (EAA) με 6000 Εκπαιδευτικούς Μέλη.

Συντονιστής/Team Leader του μεγάλου Κοινοτικού Προγράμματος SWIM-Horizon 2020 SM, (2016-2019) και της νέας φάσης του Water and Environment Support (WES) (2019-2023).

Μέλος της Ευρωπαϊκής Ακαδημίας Επιστημών.

Εκπρόσωπος του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου στο Δ.Σ. της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EEA) (1992-2018).

Πρόεδρος της Διεθνούς Επιτροπής Εμπειρογνομόνων της World Bank για το έργο σύνδεσης Ερυθράς και Νεκράς θάλασσας.

Έχει τιμηθεί με: Χρυσό Μετάλλιο της Πόλεως των Παρισίων, (Επίτιμος Δημότης) Βραβείο Ακαδημίας Αθηνών, Παράσημα Ανώτερου Ταξιάρχη Κέδρων Λιβάνου και Αγίου Ιωάννου Ιερουσαλήμ, Μετάλλιο SIMON BOLIVAR UNESCO, Επίτιμος Δημότης Ελευσίνας και σειρά άλλων διακρίσεων.



ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΠΑΤΑΡΓΙΑΣ

Ο Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Θεοχάρης Παταργιάς είναι κάτοχος δύο Πτυχίων, το ένα της Φυσιογνωσίας και Γεωγραφίας και το άλλο της Φαρμακευτικής, του Πανεπιστημίου Αθηνών. Έχει το τίτλο του Διδάκτορος και του Υφηγητού.

Υπηρέτησε σε όλες τις βαθμίδες της Πανεπιστημιακής ιεραρχίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, μέχρι και την βαθμίδα του Καθηγητού. Σήμερα φέρει τον τίτλο του Ομότιμου Καθηγητού.

Ο κ. Παταργιάς υπηρέτησε επί πολλά έτη ως Διευθυντής του Εργαστηρίου Βιολογίας και ως Πρόεδρος του Τμήματος Βιολογίας.

Μετεκπαιδεύτηκε και εργάστηκε ερευνητικά σε αξιόλογα Πανεπιστημιακά Ιδρύματα του Εξωτερικού, όπως της Αμερικής, της Γερμανίας, της Ολλανδίας και της Ελβετίας.

Ο κ. Παταργιάς κατά την διάρκεια της Ακαδημαϊκής του σταδιοδρομίας υπηρέτησε ως μέλος της Πανεπιστημιακής Συγκλήτου. Υπηρέτησε επίσης εις την Εθνική Επιτροπή Βιοηθικής, εις την Εθνική Επιτροπή Δικαιωμάτων του Ανθρώπου, εις την Διοικούσα Επιτροπή του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, εις τον Εθνικό Οργανισμό Φαρμάκων, ως υπεύθυνος διαγνωστικών κέντρων, ως υπεύθυνος εργαστηρίου Μονάδος εξωσωματικής Γονιμοποίησης και ως πραγματογνώμονας Εισαγγελίας Αθηνών σε θέματα Πατρότητας.

Έχει συγγράψει περί τις 100 επιστημονικές εργασίες, δημοσιευμένες σε Ελληνικά και Ξένα Επιστημονικά Περιοδικά. Επίσης έχει συγγράψει Βιβλία Βιολογίας για την Μέση Εκπαίδευση και Πανεπιστημιακά Συγγράμματα Βιολογίας και Γενετικής. Έχει οργανώσει και συμμετάσχει σε πολλά Ελληνικά και Διεθνή Συνέδρια.