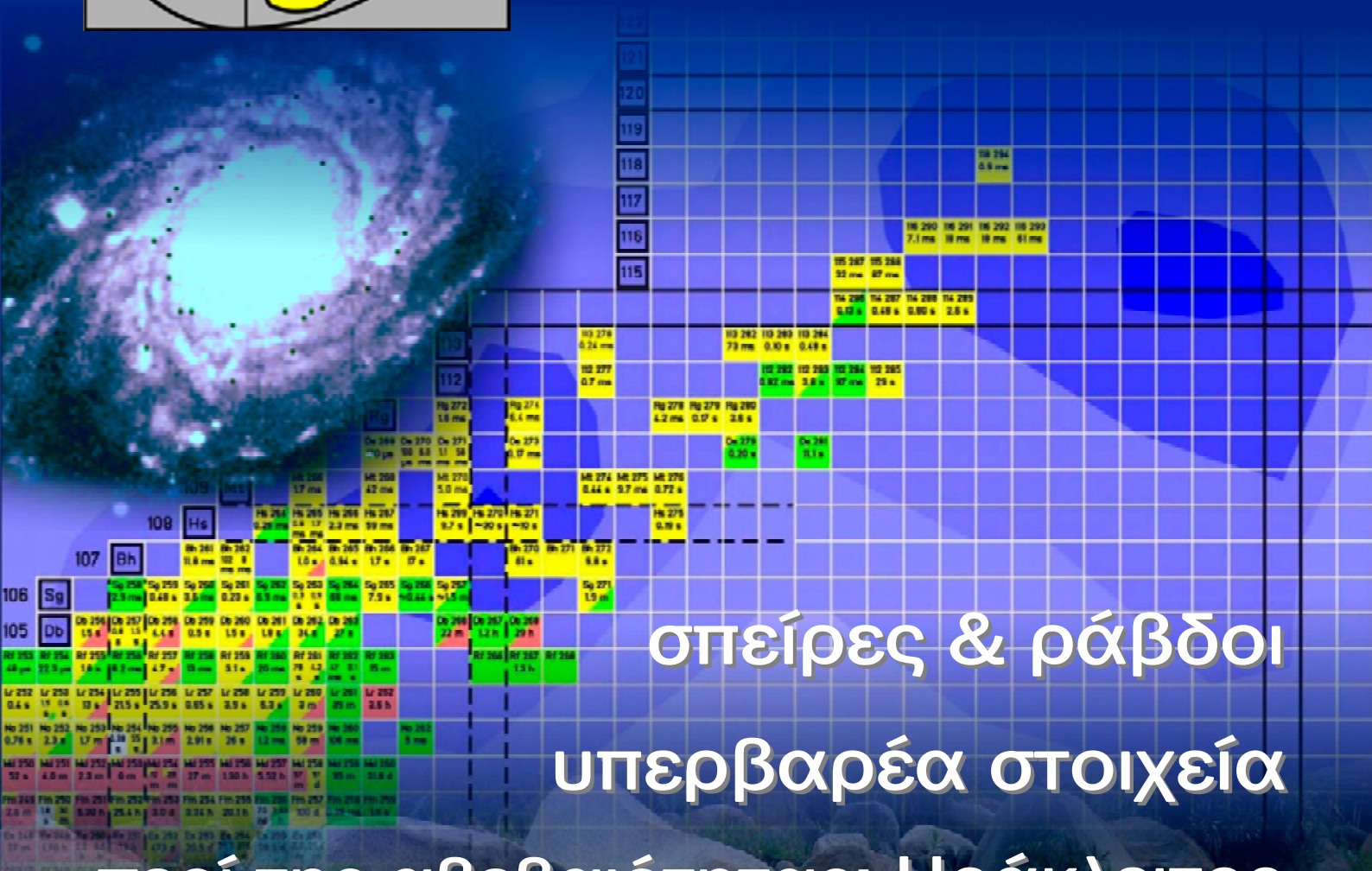
Περίοδος Δ΄ • Τεύχος 21 • Αύγουστος 2014

# φαινόμενον : : :

Το περιοδικό του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ.



## σπείρες & ράβδοι

## υπερβαρέα στοιχεία

## περί της αβεβαιότητας: Ηράκλειτος

τὰ πάντα ῥεῖ

http://phenomenon.physics.auth.gr

**φαινόμενον::::**

**Περίοδος Δ' · Τεύχος 21 · Αύγουστος 2014**
Περιοδική έκδοση του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. (προεδρία Κ. Χρυσάφη)

**συντακτική ομάδα**

**Γεώργιος Δημητρακόπουλος**
(Αναπλ. Καθ. Τμ. Φυσικής)
**Μαρία Κατσικίνη**
(Επικ. Καθ. Τμ. Φυσικής)
**Χαρίκλεια Μελέτη**
(Επικ. Καθ. Τμ. Φυσικής)
**Στυλιανός Στούλος**
(Επικ. Καθ. Τμ. Φυσικής)
**Ιωάννης Στούμπουλος**
(Επικ. Καθ. Τμ. Φυσικής)
**Δημήτριος Χατζηπαναγιωτίδης**
(Απόφοιτος Τμ. Φυσικής)
**Ολυμπία Δάρτση**
(Απόφοιτος Τμ. Φυσικής)
**Στέφανος Μαύρος**
(Φοιτητής Τμ. Φυσικής)
**Νικόλαος Χατζαράκης**
(Φοιτητής Τμ. Φυσικής)
**Κων/νος Κατριοπλάς**
(Φοιτητής Τμ. Φυσικής)
**Δάφνη Παρλιάρη**
(Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)

**στο τεύχος αυτό συνεργάστηκαν**

**Μαρία Ζαμάνη-Βαλασιάδου**
(Διατελέσασα Καθηγήτρια Τμ. Φυσικής)
**Γεώργιος Θεοδώρου**
(Καθηγητής Τμ. Φυσικής)
**Κωνσταντίνα Πανουτσοπούλου**
(Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
**Δάφνη Παρλιάρη**
(Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)
**Πάνος Πάτσης**
(Διευθυντής Ερευνών, Κέντρο Ερευνών Αστρονομίας & Εφαρμοσμένων Μαθηματικών της Ακαδημίας Αθηνών)
**Δημήτριος Χατζηπαναγιωτίδης**
(Απόφοιτος Τμ. Φυσικής)
**Ηλιάνα Χρήστου**
(Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής)

**εκτύπωση**
COPYCITY Ε.Π.Ε.

**ψηφιακή έκδοση**
http://phenomenon.physics.auth.gr
E-mail επικοινωνίας:
phenomenon@physics.auth.gr

## σημείωμα της σύνταξης

Με το παρόν Αυγουστιάτικο τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ» θα θέλαμε να καλωσορίσουμε τους νεοεισαχθέντες φοιτητές του Τμήματος Φυσικής και να ευχηθούμε σε όλους τους φοιτητές και το προσωπικό του Τμήματος καλό ακαδημαϊκό έτος. Αυτό το τεύχος φιλοξενεί ένα άρθρο του Πάνου Πάτση, Διευθυντή Ερευνών του Κέντρου Ερευνών Αστρονομίας & Εφαρμοσμένων Μαθηματικών της Ακαδημίας Αθηνών για τη δυναμική των γαλαξιών. Περιλαμβάνει επίσης ένα άρθρο για τις απόψεις του Ηράκλειτου σχετικά με την αβεβαιότητα καθώς και την τρέχουσα επιστημονική επικαιρότητα σχετικά με τα υπερβαρέα στοιχεία. Από το τεύχος δε λείπουν τα επιστημονικά νέα καθώς και τα νέα και οι εκδηλώσεις του τμήματος. Ραντεβού το φθινόπωρο με ένα νέο τεύχος του «ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΝ».

Η ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

## περιεχόμενα

- Διαστημικό τηλεσκόπιο Κέπλερ **1**
- Σπείρες και ράβδοι **2**
- Σύνθεση υπερ-βαρέων πυρήνων και η νήσος της σταθερότητας **8**
- Υπερ-βαρέα στοιχεία (super-heavy elements) **10**
- Περιήγηση: Θερινό Σχολείο στο Bachinovo **14**
- Περί της Αβεβαιότητας: Ηράκλειτος **16**
- Συνέβησαν στο Τμήμα **28**

## φωτογραφίες

**Εξώφυλλο:** (φόντο) χάρτης γνωστών ισοτόπων βαρέων και υπερβαρέων στοιχείων [http://www-alt.gsi.de], απεικόνιση γαλαξία (Π. Πάτσης) **Οπισθόφυλλο:** Νόησις, **Σελ. 29,30** (Ι. Στούμπουλος), **Σελ. 31** από τις διδακτορικές διατριβές των διδακτόρων.

**πνευματικά δικαιώματα**

Το δημοσιευμένο υλικό στο περιοδικό αυτό προστατεύεται από Copyright. Το υλικό δημοσιεύεται υπό όρους που καθορίζονται από την Creative Commons Public License και απαγορεύεται κάθε χρήση του με διαφορετικές προϋποθέσεις από αυτές που καθορίζονται από την άδεια. Είστε ελεύθεροι να διανείμετε, αναπαράγετε, κατανείμετε, διαδώστε, διασκευάστε το έργο αυτό με τις ακόλουθες προϋποθέσεις: Η *αναφορά στο έργο* πρέπει να γίνει κατά τον τρόπο που καθορίζεται από το συγγραφέα ή το χορηγό της άδειας (αλλά όχι με τρόπο που να υποδηλώνει ότι παρέχουν επίσημη έγκριση σε σας ή για χρήση του έργου από εσάς). Εάν αλλοιώσετε, τροποποιήσετε ή δομήσετε πάνω στο έργο αυτό, η διανομή του παράγωγου έργου μπορεί να γίνει μόνο υπό τους όρους της ίδιας, παρόμοιας ή συμβατής άδειας.
Δείτε αναλυτικά του όρους: **http://creativecommons.org/licences/by-sa/3.0/**

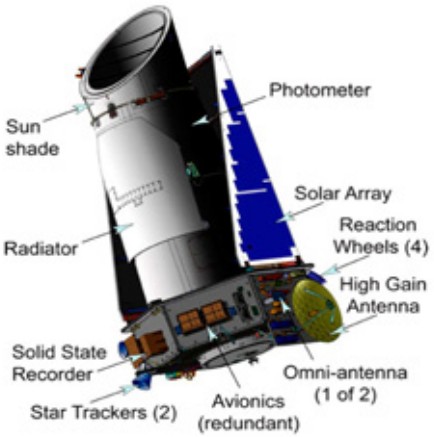
Οι απόψεις που παρουσιάζονται σε κάθε κείμενο εκφράζουν το συγγραφέα του και όχι υποχρεωτικά τη συντακτική ομάδα του περιοδικού.

## Διαστημικό τηλεσκόπιο Κέπλερ: Τι πήγε στραβά; Τι περιμένουμε στο μέλλον;

*Ηλιάνα Χρήστου*
*Φοιτήτρια*
*Τμ. Φυσικής*

Το διαστημικό τηλεσκόπιο Κέπλερ της NASA φαίνεται να ολοκλήρωσε την αποστολή του αφού σύμφωνα με ανακοίνωση της NASA τον Ιούλιο του 2013 δεν είναι σε θέση να συνεχίσει να καταγράφει δεδομένα. Όπως έγινε γνωστό, δύο από τους τέσσερις τροχούς που διαθέτει το τηλεσκόπιο για τα το βοηθούν να περιστρέφεται γύρω από το κέντρο μάζας του και να είναι σταθερό ώστε να παίρνει μετρήσεις δεν λειτουργούν πια. Η βλάβη αυτή, σύμφωνα με εκτιμήσεις, πιθανόν να προκλήθηκε κατά την εκτόξευση ή λόγω ραδιενέργειας.

Το Κέπλερ, ίσως μία από τις πιο φιλόδοξες αποστολές της NASA, είχε σαν στόχο της να ανακαλύψει νέους πλανήτες στους οποίους θα μπορούσε να αναπτυχθεί ζωή όπως την ξέρουμε ή περίπου έτσι. Πρόκειται για ένα τεράστιο φωτομετρικό τηλεσκόπιο, το οποίο διαθέτει μία κάμερα 92 megapixel αποτελούμενη από 42 ccd ανιχνευτές, η μεγαλύτερη δηλαδή κάμερα που στάλθηκε ποτέ στο διάστημα. Αυτή η τεράστια κάμερα είχε το βλέμμα της στραμμένο προς τους αστερισμούς Λύρα, Κύκνος και Δράκων και σε 150.000 αστέρια στην περιοχή εκείνη. Κατέγραφε, λοιπόν, κατά πόσο εξασθενούσε το φως ενός αστεριού που βρισκόταν στο οπτικό της πεδίο όταν κάποιος πλανήτης περνούσε από μπροστά του. Η ερευνήτρια Ν. Μπατάλια που ανήκει στην αποστολή, προσπαθώντας να κάνει αντιληπτή την απαιτούμενη ακρίβεια του οργάνου μέτρησης για αυτήν την αποστολή αναφέρει: «Είναι σαν να παρακολουθείς από τη Νέα Υόρκη ένα τεράστιο ξενοδοχείο που βρίσκεται στο Λας Βέγκας. Το ξενοδοχείο είναι πλήρες και όλα τα φώτα είναι ανοιχτά. Αυτό που θέλουμε να εντοπίσουμε είναι σε ποιο δωμάτιο κάποιος θαμώνας χαμήλωσε ελάχιστα το φως». Στη συνέχεια, από το ποσοστό εξασθένισης του φωτός, οι ερευνητές προσδιορίζουν το μέγεθος του πλανήτη, ενώ από το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μέχρι ο πλανήτης να ξαναεμφανιστεί στο οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου πληροφορούνται για την τροχιά του και την απόσταση από το αστέρι του. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρεί ένας πλανήτης για να μπορεί να αναπτυχθεί ζωή σε αυτόν είναι να ανήκει στην κατοικήσιμη ζώνη (habitablezone). Πρόκειται για μία περιοχή-δακτύλιο γύρω από κάθε αστέρι μέσα στα όρια της οποίας μπορεί να υπάρξει νερό. Η περιοχή αυτή δεν είναι πολύ κοντά στο αστέρι καθώς εκεί οι θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά υψηλές αλλά ούτε και πολύ μακριά όπου οι θερμοκρασίες είναι απαγορευτικά χαμηλές για την ανάπτυξη ζωής. Βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα και η θέση της σε κάθε αστέρι εξαρτάται από το μέγεθός του και την ηλικία του.




*Σκαρίφημα του διαστημικού τηλεσκοπίου Κέπλερ*

Στη διάρκεια της αποστολής το γιγάντιο τηλεσκόπιο δεν απογοήτευσε τις φιλοδοξίες της επιστημονικής κοινότητας. Κατάφερε να καταγράψει δεδομένα για περίπου 3.500 πλανήτες και συνολικά από τα δεδομένα που έχουν αναλυθεί έχουν περιγραφεί ως προς το μέγεθος, την τροχιά, την απόσταση από το αστέρι τους αλλά και άλλα χαρακτηριστικά κοντά στους 135 πλανήτες, εκ των οποίων οι τρεις τουλάχιστον ανήκουν στην κατοικήσιμη ζώνη. Ωστόσο, τα περισσότερα δεδομένα του Κέπλερ είναι ακόμη προς ανάλυση. Επομένως περιμένουμε και άλλους πλανήτες να δώσουν το παρόν σε κατοικήσιμη ζώνη.

Τι θα συμβεί, όμως, με το Κέπλερ; Θα επισκευαστεί; Θα αξιοποιηθεί με κάποιον τρόπο; Η NASA έχει ήδη πάρει την πρωτοβουλία να συζητήσει με την επιστημονική κοινότητα και να εξετάσει τις προτάσεις που θα κατατεθούν. Σίγουρα κανείς δεν είναι διατεθειμένος να παρατήσει το τηλεσκόπιο αφού ακόμη και με τους δύο τροχούς σε λειτουργία μπορεί να φανεί χρήσιμο. Πιθανόν να μπορούσε να τροποποιηθεί για να παρατηρεί αστεροειδείς, κομήτες ή υπερκαινοφανείς αστέρες (supernova).

*Πηγές*


- *nasa.gov*
- *space.com*
- *nytimes.com*
- *physicsworld.com*
- *csmonitor.com*
- *spectrum.iiie*

# Η σημασία της ανάλυσης αστρονομικών εικόνων για την κατανόηση της Δυναμικής των γαλαξιών

**Πάνος Πάτσης**
Διευθυντής Ερευνών,
Κέντρο Ερευνών Αστρονομίας & Εφαρμοσμένων Μαθηματικών της Ακαδημίας Αθηνών.

*All galaxies are not created equal. Of the three main types of galaxies, one stands out from the rest for its stunning beauty: the spiral.*

Ken Croswell
"The alchemy of the heavens"

Στις αρχές του 20ου αιώνα, έγινε σαφές ότι τα παρατηρούμενα σπειροειδή και ελλειψοειδή νεφελώματα είναι συστήματα που βρίσκονται εκτός του Γαλαξία και είναι τα ίδια γαλαξίες ανάλογου μεγέθους με αυτόν. Μάλιστα μετρήσεις από τον Slipher βασισμένες στο φαινόμενο Doppler, έδειξαν ότι απομακρύνονται από τον δικό μας τόσο γρηγορότερα όσο μεγαλύτερη είναι η απόστασή τους από αυτόν (Hubble 1929). Η συνειδητοποίηση της φύσης των γαλαξιών αποτέλεσε μία από τις μεγαλύτερες κοσμολογικές ανακαλύψεις της ανθρωπότητας και επανατοποθέτησε τον άνθρωπο μέσα στο Σύμπαν. Αποτέλεσε το έναυσμα για την εξέλιξη της σύγχρονης κοσμολογίας.

Ο Hubble (1926) ταξινόμησε τους γαλαξίες σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το σχήμα τους. Τους άμορφους, τους ελλειπτικούς και τους σπειροειδείς. Η τελευταία κατηγορία έχει ξεχωριστό ενδιαφέρον. Πέρα από την εντυπωσιακή αισθητική των παρατηρούμενων σχημάτων, οι σπειροειδείς γαλαξίες διαθέτουν μεγάλες ποσότητες αερίου σε σχέση με τους ελλειπτικούς. Σε μερικές περιπτώσεις το αέριο φτάνει το 15% της συνολικής τους μάζας. Το αέριο αποτελεί την πρώτη ύλη για τη δημιουργία αστέρων, πλανητικών συστημάτων και κατά συνέπεια ζωής στο Σύμπαν. Ο Γαλαξίας μας είναι ένας σπειροειδής γαλαξίας με ράβδο, έναν επιμήκη σχηματισμό από τα άκρα του οποίου ξεπηδούν οι σπειροειδείς βραχίονες. Οι σπειροειδείς γαλαξίες που διαθέτουν ράβδο χαρακτηρίζονται ως «ραβδωτοί», σε αντίθεση με τους «κανονικούς» σπειροειδείς οι οποίοι δεν έχουν ράβδο ή η ράβδος τους είναι αμελητέα. Σπείρες και ράβδοι είναι δομές που εμφανίζονται σε δισκοειδείς γαλαξίες και σε αυτό το γαλαξιακό τύπο αναφερόμαστε στο παρόν άρθρο.

Η κατανόηση των δυναμικών μηχανισμών που οδηγούν στις παρατηρούμενες μορφολογίες των γαλαξιακών συστημάτων έχει ευρύτερη σημασία για τη σύγχρονη αστρονομική έρευνα. Αφενός η ανάπτυξη ή μη δομών όπως η ράβδος και οι σπείρες σχετίζονται με τις κοσμολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή που δημιουργήθηκαν κατά το χρόνο γέννησής τους. Η σημερινή έκταση της ράβδου ενός γαλαξία, η γωνία κλίσης των σπειροειδών βραχιόνων του και η εν γένει μορφολογία του, μας δίνει πληροφορίες για την κατανομή της στροφορμής, την κατανομή της σκοτεινής ύλης, το ποσοστό και τις ιδιότητες του αερίου και άλλα χαρακτηριστικά των πρωτογαλαξιακών νεφών που οδήγησαν στο σχηματισμό του. Αφετέρου, ο μηχανισμός συσσώρευσης αερίου και σκόνης στους σπειροειδείς βραχίονες, η κατανομή των γιγαντιαίων μοριακών νεφών και η εν γένει αλληλεπίδραση μεταξύ αστέρων και μεσοαστρικής ύλης καθορίζει εν πολλοίς το μηχανισμό γέννησης νέων αστέρων και τη χημική εξέλιξη των γαλαξιών. Άρα η ερμηνεία της δομής τους αποτελεί κλειδί για την έρευνα τόσο σε εξωγαλαξιακή όσο και σε γαλαξιακή κλίμακα.

Οι σπείρες και οι ράβδοι δημιουργούνται πάνω σε γαλαξιακούς δίσκους. Σε πρώτη προσέγγιση ένας δισκοειδής γαλαξίας αποτελείται από τρία μέρη: το δίσκο, το κεντρικό εξόγκωμα και την άλω. Ο δίσκος περιλαμβάνει τα περισσότερα αστέρια του γαλαξία. Είναι ένας δισκοειδής σχηματισμός στον οποίο η επιφανειακή λαμπρότητα, $I$, είναι εκθετική συνάρτηση της ακτίνας, $R$, δηλαδή:

$$I(R) = I_0 \exp(-R/R_d)$$

όπου $R_d$ είναι το εκθετικό μήκος κλίμακας και λαμβάνει χαρακτηριστικές τιμές μεταξύ 2 και 5 kpc. Το κεντρικό εξόγκωμα είναι μια πυκνή σε αστέρες περιοχή που βρίσκεται στην κεντρική περιοχή του δίσκου. Σε πολλές περιπτώσεις έχει μια σφαιροειδή μορφολογία ενώ σε άλλες λαμβάνει το σχήμα «κουτιού» καθώς εκτείνεται στην τρίτη διάσταση. Κάτι τέτοιο συμβαίνει και στην περίπτωση του δικού μας Γαλαξία. Στην άλω που περιβάλλει το δίσκο βρίσκουμε σφαιρωτά σμήνη αστέρων και υπολείμματα της διαδικασίας δημιουργίας

του γαλαξία. Κυρίως όμως στην άλω, τοποθετούμε την «ελλείπουσα μάζα» σε γαλαξιακή κλίμακα. Όπως είναι γνωστό, από τις καμπύλες περιστροφής των γαλαξιών συμπεραίνουμε ότι ένα σημαντικό ποσοστό της μάζας των γαλαξιών δεν μπορεί να παρατηρηθεί, δεν βρίσκεται στους αστέρες ή στο αέριο των γαλαξιών, αλλά σε μια άγνωστη μέχρι σήμερα μορφή ύλης που γίνεται αισθητή μόνο από τις βαρυτικές δυνάμεις που ασκεί στη φωτεινή ύλη. Ως εκ τούτου ονομάζεται «σκοτεινή ύλη» (βλ. π.χ. Rubin 1983). Η σκοτεινή ύλη ενός δισκοειδούς γαλαξία από το κέντρο του μέχρι την ισόφωτη στο οπτικό στην οποία η επιφανειακή του λαμπρότητα πέφτει στο 26.5 mag/arcsec$^2$ μπορεί να είναι διπλάσια ή και περισσότερο της φωτεινής ύλης.

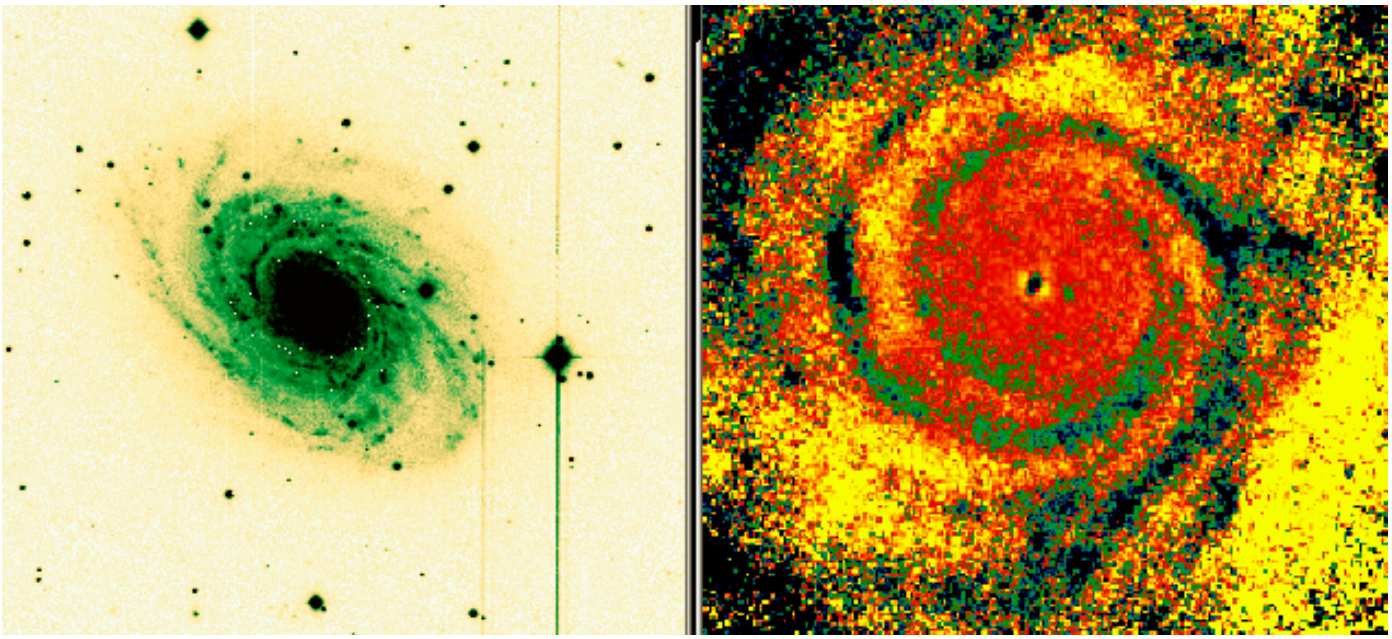
Σε αυτό το περιβάλλον αναπτύσσονται κατά τη φάση της δημιουργίας των δισκοειδών γαλαξιών δομές όπως οι σπείρες και οι ράβδοι. Τέτοιες δομές παρατηρούνται παντού στο κοντινό μας Σύμπαν και αυτό σημαίνει ότι έχουν επιβιώσει από τον καιρό της δημιουργίας τους μέχρι σήμερα. Από το 1995 μάλιστα, διαδοχικές παρατηρήσεις όπως αυτές των βαθέων πεδίων του Hubble Space Telescope (βλ. π.χ. την ιστοσελίδα της NASA στη διεύθυνση http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/xdf.html) έδειξαν ότι οι δομές αυτές ήταν παρούσες ήδη στα αρχικά στάδια της δημιουργίας των γαλαξιών. Έτσι οι θεωρίες για το σχηματισμό τους έπρεπε να συμπεριλαμβάνουν ένα μηχανισμό διατήρησής τους για ένα σημαντικό κλάσμα της ηλικίας του Σύμπαντος. Πολύ σύντομα έγινε αντιληπτό ότι οι αστέρες στους γαλαξιακούς δίσκους περιστρέφονται διαφορικά. Η γωνιακή τους ταχύτητα, $\Omega(R)$, είναι μεγαλύτερη κοντά στο κέντρο από ότι στα εξωτερικά μέρη του δίσκου. Έτσι οι σπείρες και οι ράβδοι δεν μπορούν να επιβιώσουν επί μακρόν αν αποτελούνται συνεχώς από τους ίδιους αστέρες. Ένας πρόχειρος υπολογισμός δείχνει ότι αν υποθέσουμε σε πρώτη προσέγγιση ότι οι αστέρες σε ένα γαλαξιακό δίσκο ακολουθούν κυκλικές τροχιές γύρω από το κέντρο του γαλαξία με επίπεδη καμπύλη περιστροφής με $v_c=R\Omega(R)$ =200km/s και η ακτίνα του συστήματος είναι $R$=5 kpc, τότε κατά τη διάρκεια ζωής ενός γαλαξία (10 Gyr) οι δομές αυτές θα είχαν περιελιχθεί και δεν θα μπορούσαμε να τις παρατηρήσουμε (βλ. π.χ. Binney & Tremaine 2008, σελ. 471).

Διέξοδος σε αυτό το πρόβλημα δίνεται αν θεωρήσουμε ότι οι σπείρες και οι ράβδοι είναι τα μέγιστα κυμάτων πυκνότητας που διαδίδονται πάνω στους δίσκους. Η ιδέα αυτή εκφράστηκε αρχικά από τον Bertil Lindblad κυρίως στη δεκαετία του 1950 και παρουσιάστηκε αργότερα, το 1964 και 1966, ως συγκροτημένη θεωρία από τους C.C. Lin και Frank Shu. (Για την εξέλιξη των ιδεών σε αυτόν τον τομέα ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στις εργασίες του Pasha, 2004a και 2004b). Ως κύμα πυκνότητας, οι σπείρες δεν αποτελούνται συνεχώς από τους ίδιους αστέρες, αλλά είναι οι περιοχές των γαλαξιακών δίσκων στις οποίες οι αστέρες παραμένουν για περισσότερο χρόνο καθώς περιστρέφονται γύρω από το κέντρο του γαλαξία. Οι αστέρες και ο σπειροειδής σχηματισμός, ή η ράβδος, περιστρέφονται με διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες. Η γωνιακή ταχύτητα των αστέρων, $\Omega(R)$, εξαρτάται από την απόσταση τους από το κέντρο του γαλαξία, ενώ η γωνιακή ταχύτητα των σπειρών ή της ράβδου (pattern speed), $\Omega_p$, είναι σταθερή.

Οι αστέρες περνάνε μέσα από τις σπείρες καθώς εκτελούν σχεδόν κυκλικές τροχιές. Για να περιγράψουμε ακριβέστερα την κίνησή τους θεωρούμε ότι εκτελούν ταυτόχρονα μια ακτινική και μία κάθετη στον γαλαξιακό δίσκο ταλάντωση. Έτσι μπορούμε να ορίσουμε πάνω στους δίσκους θέσεις ακτινικών και κάθετων συντονισμών. Οι ακτινικοί συντονισμοί συμβαίνουν όταν ο λόγος

$$\frac{\kappa(R)}{\Omega(R) - \Omega_p} = \frac{n}{m} \qquad (1)$$

είναι ρητός. $\kappa(R)$ είναι η λεγόμενη «επικυκλική συχνότητα» που σχετίζεται με τις ακτινικές ταλαντώσεις και $\Omega(R)$-$\Omega_p$ η γωνιακή ταχύτητα του αστέρα στο συμπεριστρεφόμενο με την ταχύτητα περιστροφής των σπειρών ή της ράβδου, $\Omega_p$, σύστημα αναφοράς. Αντίστοιχα ορίζονται και οι κάθετοι συντονισμοί αν στη θέση του $\kappa(R)$ βάλουμε την κάθετη συχνότητα $\nu(R)$. Για τη μορφολογία των σπειρών και των ράβδων οι πιο σημαντικοί ακτινικοί συντονισμοί συμβαίνουν όταν $n/m$=±2/1 (εσωτερικός και εξωτερικός συντονισμός Lindblad), η συμπεριστροφή ($\Omega=\Omega_s$) και ο $n/m$=4/1 (για λεπτομέρειες βλ. Contopoulos 2002, κεφάλαιο 3). Αν κοιτάξουμε τους γαλαξιακούς δίσκους από το πλάι, θα παρατηρήσουμε μία μορφολογία που καθορίζεται από την παρουσία των κάθετων συντονισμών. Οι Patsis, Skokos και Athanassoula (2002) έδειξαν ότι οι πιο σημαντικοί συντονισμοί για τη μορφολογία των δίσκων μακριά από το ισημερινό επίπεδο είναι οι κάθετοι συντονισμοί 2/1 και 3/1. Σήμερα υπάρχει μια γενική συμφωνία για την κυματική φύση των σπειρών και των ράβδων, παραμένουν όμως ανοιχτά τα ερωτήματα σχετικά με το πλάτος των κυμάτων, την ταχύτητα περιστροφής τους και

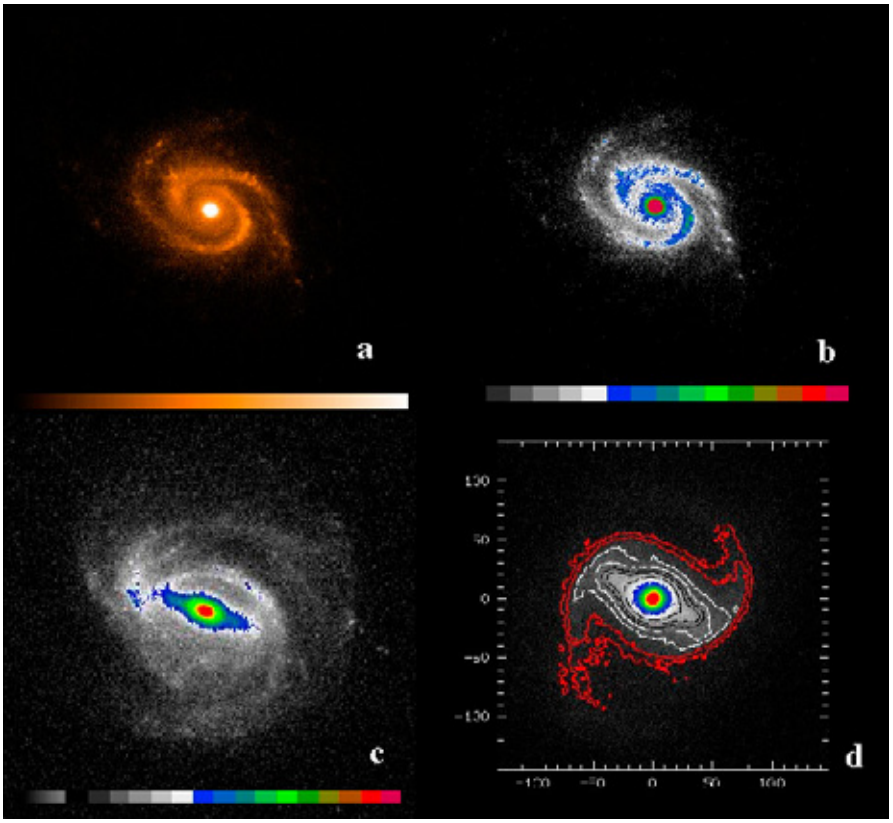


*Σχήμα 1. Αριστερά βλέπουμε τον γαλαξία NGC3223 στο οπτικό και δεξιά στο εγγύς υπέρυθρο (2.1 μm). Η δεξιά εικόνα έχει διορθωθεί για φαινόμενα προβολής και έχει διαιρεθεί με το αξισυμμετρικό της υπόβαθρο. Η πολύπλοκη μορφολογία του οπτικού κρύβει ένα απλό λογαριθμικό σπειροειδές στο εγγύς υπέρυθρο.*

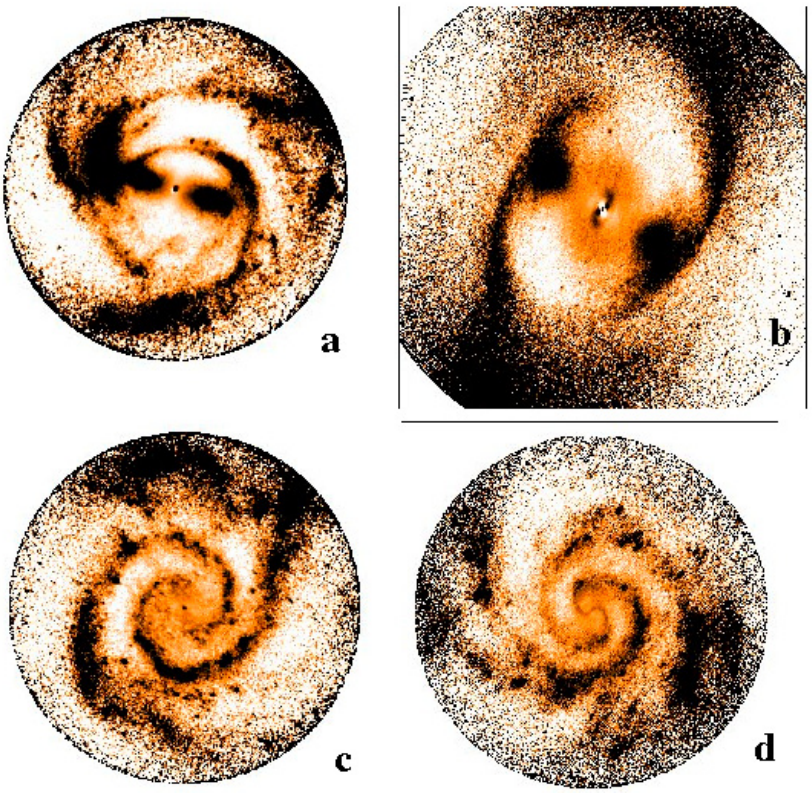
το χρόνο ζωής τους, καθώς και για τον τρόπο ροής της ύλης (αστρικής και αέριας) στην περιοχή των σπειρών.

Η έρευνα της δυναμικής των γαλαξιακών δίσκων επωφελήθηκε από την ανάπτυξη συσκευών παρατήρησης στα μέσα της δεκαετίας του 1990 σε μήκη κύματος λ≥1μm και κυρίως στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα να δούμε την κατανομή των αστέρων του πληθυσμού ΙΙ, των παλαιότερων δηλαδή αστέρων φασματικού τύπου Κ και Μ, οι οποίοι δίνουν ουσιαστικά την κατανομή του 80% περίπου της φωτεινής ύλης στους δίσκους. Οι εικόνες στο οπτικό κυριαρχούνται από την παρουσία των αστέρων του πληθυσμού Ι, νέων αστέρων μεγάλης λαμπρότητας, αλλά όχι και μεγάλης μάζας. Στο εγγύς υπέρυθρο επίσης περιορίζεται η εξασθένιση του φωτός λόγω της παρουσίας της σκόνης. Έτσι παίρνουμε εικόνες κατάλληλες για σύγκριση με μοντέλα που περιγράφουν τη δυναμική των αστρικών δίσκων. Οι διαφορές στη μορφολογία μεταξύ εγγύς υπέρυθρου και οπτικού για την πλειοψηφία των γαλαξιών είναι πολύ σημαντικές. Ένας σημαντικός αριθμός από τους γαλαξιακούς δίσκους εμφανίζει στο οπτικό μια σύνθετη μορφολογία με πολλούς βραχίονες και τμήματα βραχιόνων στις μεσοβραχιόνιες περιοχές (flocculent morphology). Οι ίδιοι γαλαξίες όμως στο εγγύς υπέρυθρο συχνά εμφανίζουν τη μορφολογία ενός σπειροειδούς με δύο βραχίονες (Grand Design). Αυτή η κανονικότητα στη μορφολογία των παλαιότερων αστέρων του δίσκου ενισχύει την άποψη ότι οι δομές των δίσκων παραμένουν αμετάβλητες για σημαντικό χρονικό διάστημα, της τάξης των δισεκατομμυρίων ετών. Αυτό το διάστημα είναι αρκετό για να «αισθανθούν» οι αστέρες του δίσκου το βαρυτικό πεδίο του γαλαξία και να κατασταλάξουν στον πυθμένα του δυναμικού του.

Τα στοιχεία με τα οποία συγκρίνουμε τα θεωρητικά μας μοντέλα και ελέγχουμε τις προτεινόμενες θεωρίες προκύπτουν από την ανάλυση και επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων των γαλαξιών. Για τη μελέτη της αστρικής δυναμικής των δισκοειδών γαλαξιών και την εκτίμηση των διαφόρων παραμέτρων τους, επεξεργαζόμαστε τις εικόνες που μας δείχνουν ακριβέστερα την κατανομή της φωτεινής ύλης και είναι οι καταλληλότερες για σύγκριση με μοντέλα της αστρικής συνιστώσας των δίσκων. Αυτές όπως είπαμε λαμβάνονται στο εγγύς υπέρυθρο. Η ανάλυσή τους μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες, οι οποίες είναι κρυμμένες στις εικόνες των γαλαξιών στα οπτικά μήκη κύματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα βλέπουμε στο Σχήμα 1. Πρόκειται για δύο εικόνες ψευδοχρωμάτων του γαλαξία NGC 3223. Αριστερά βλέπουμε τον γαλαξία στο οπτικό (Β φίλτρο, κοντά στα 4361 Å). Οι πιο σκούρες περιοχές της εικόνας αντιστοιχούν σε περιοχές μεγαλύτερης επιφανειακής λαμπρότητας. Σε αυτά τα μήκη κύματος κυριαρχούν νεαρά αντικείμενα, όπως νέοι αστέρες και ανοιχτά σμήνη. Ο γαλαξίας έχει σπειροειδή μορφή, αλλά δεν παρατηρούμε ξεκάθαρα δύο σπείρες. Αντιθέτως γύρω από την κεντρική περιοχή υπάρχουν πολλά τμήματα βραχιόνων με




*Σχήμα2: (a) και (b) εικόνες ψευδοχρωμάτων του γαλαξία IC 438 στο εγγύς υπέρυθρο. (c) Ο ραβδωτός σπειροειδής γαλαξίας NGC 3367 και (d) ο ραβδωτός σπειροειδής γαλαξίας NGC 4548 επίσης στο εγγύς υπέρυθρο με υπέρθεση χαρακτηριστικών για τη μορφολογία του ισοφώτων. Οι παρατηρήσεις έχουν γίνει με τηλεσκόπια του ESO στη La Silla στη Χιλή.*




*Σχήμα 3: Απομονωμένες διαταραχές ράβδων και σπειρών σε εικόνες γαλαξιών στο εγγύς υπέρυθρο. (a) NGC 3367, (b) NGC4548, (c) NGC 5861 και (d) NGC 6118. Από τις εικόνες αυτές έχουν αφαιρεθεί το κεντρικό εξόγκωμα καθώς και αστέρες πεδίου.*

ασαφή όρια. Η δεξιά εικόνα του Σχήματος 1 ανήκει στον ίδιο γαλαξία. Αυτή τη φορά η εικόνα έχει ληφθεί στο εγγύς υπέρυθρο (K' φίλτρο κοντά στα 2.1 μm) και έχει αναλυθεί ως εξής. Πρώτα η εικόνα έχει διορθωθεί για φαινόμενα προβολής ώστε να βλέπουμε τον γαλαξία κάθετα στην οπτική μας ακτίνα. Στη συνέχεια έχουμε διαιρέσει την εικόνα με την εικόνα ενός αξισυμμετρικού δίσκου που έχουμε κατασκευάσει απεικονίζοντας το προφίλ της μέσης επιφανειακής λαμπρότητας του γαλαξία σε κάθε ακτίνα. Το φως στη δεξιά εικόνα προέρχεται κυρίως από αστέρες του πληθυσμού ΙΙ στο δίσκο. Με την επεξεργασία της εικόνας που πραγματοποιήσαμε βλέπουμε δεξιά πόσο περισσότερο φως καταγράφεται στην περιοχή των σπειρών σε σχέση με τη μέση τιμή στην αντίστοιχη ακτίνα. Αποκαλύπτεται έτσι ένα λογαριθμικό σπειροειδές με δύο βραχίονες το οποίο δεν φαίνεται στην εικόνα του γαλαξία στο οπτικό. Η κανονικότητα της μορφολογίας των σπειρών, όπως αυτή που βλέπουμε στο παράδειγμα του NGC 3223, καθώς και η ύπαρξη ασθενών ράβδων στις κεντρικές περιοχές των περισσότερων δισκοειδών γαλαξιών, είναι οι δύο κυριότερες μορφολογικές διαφορές που παρατηρούμε μεταξύ εικόνων στο οπτικό και στο εγγύς υπέρυθρο (Block et al. 1996). Οι εικόνες του Σχήματος 1 καταγράφηκαν από τους Grosbøl και Patsis (1998) στα τηλεσκόπια NTT (στο οπτικό) και 2.2m MPI/ESO (στο εγγύς υπέρυθρο) στη La Silla της Χιλής.

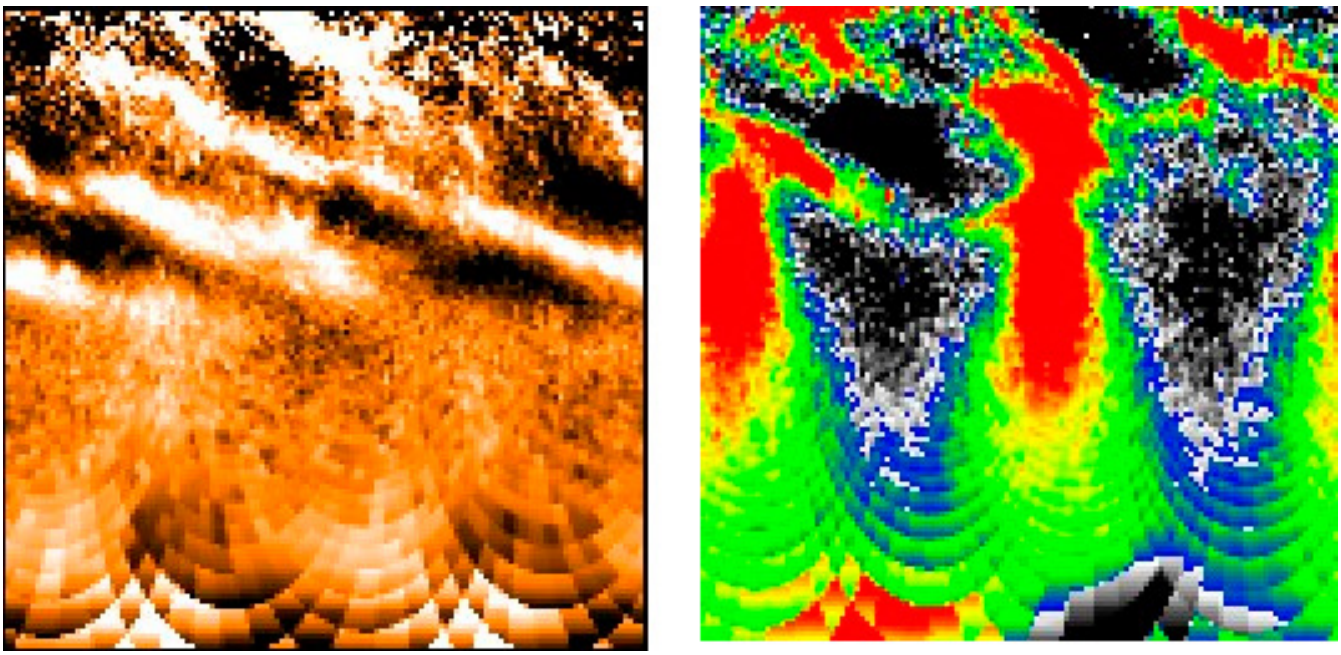
Η ανάλυση των εικόνων των γαλαξιών, και ιδιαίτερα αυτών που έχουν καταγραφεί στο εγγύς υπέρυθρο, είναι βασική προϋπόθεση για την κατανόηση της δυναμικής τους. Η ανάπτυξη αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνων, ακολούθησε ως φυσικό επακόλουθο της μετάβασης της αστρονομικής παρατήρησης στην ψηφιακή εποχή με τις συσκευές CCD στα

μέσα της δεκαετίας του 1980. Ήταν άλλη μια περίπτωση που η αστρονομική έρευνα ανέπτυξε μεθόδους που στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν από άλλες επιστήμες (όπως η ιατρική, η βιολογία κ.λπ.). Απλές διαδικασίες όπως η απεικόνιση με παλέτες κατάλληλων ψευδοχρωμάτων ή η υπέρθεση ισόφωτων παρέχουν ήδη σημαντικές πληροφορίες (βλ. Σχήμα 2).

Η απομόνωση των διαταραχών όπως στο παράδειγμα του Σχήματος 1 ή των αντίστοιχων περιπτώσεων που παρουσιάζουμε για 4 ακόμα γαλαξίες στο Σχήμα 3, αποκαλύπτουν τη φύση και την ακριβή γεωμετρία των διαταραχών. Ανάλυση Fourier των εικόνων αυτών μας δίνει τη διακύμανση του πλάτους των διαταραχών αζιμουθιακά σε οποιαδήποτε απόσταση από το κέντρο του γαλαξία. Η γνώση του πλάτους των διαταραχών μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε τη σημασία μη-γραμμικών φαινομένων για τη δυναμική τους (Grosbøl 1993). Στους κανονικούς σπειροειδείς τα πλάτη αυτά στην επιφανειακή λαμπρότητα είναι της τάξεως 5-12% του αξισυμμετρικού υποβάθρου, ενώ στους ραβδωτούς σπειροειδείς μπορεί να φτάσει και το 90%. Η συμβολή των νέων αστέρων στο εκτιμώμενο πλάτος των σπειρών μπορεί να φτάσει το 20% και πρέπει να γίνουν κατάλληλες διορθώσεις πριν επιχειρηθεί η μελέτη της δυναμικής τους (Grosbøl et al. 2004, Patsis et al. 2001).

Βρέθηκε ότι οι σπείρες των grand design γαλαξιών έχουν κατά μήκος τους σχεδόν σταθερή γωνία κλίσης (pitch angle) ως προς ομόκεντρους κύκλους για μια μεγάλη αζιμουθιακή απόσταση και ως εκ τούτου μπορούν να περιγραφούν με λογαριθμικές σπείρες (R=εαθ σε πολικές συντεταγμένες). Αυτό είναι ένα σημαντικό στοιχείο στην προσπάθεια να καταλάβουμε αν οι σπείρες είναι τρόποι (modes) κυμάτων πυκνότητας που διαρκούν αρκετά δισεκατομμύρια χρόνια ή σχηματισμοί με διάρκεια ζωής της τάξης της περιόδου περιστροφής του συστήματος. Η γεωμετρία των διαταραχών γίνεται απευθείας εμφανής αν οι εικόνες τους μετασχηματιστούν σε εικόνες με άξονες (θ,lnR). Μία λογαριθμική σπείρα σε ένα σχήμα με συντεταγμένες (θ,lnR) θα εμφανίζεται ως ευθύγραμμο τμήμα, ενώ μία ράβδος θα έχει σταθερή φάση θ. Στο Σχήμα 4, αριστερά βλέπουμε τη μετασχηματισμένη εικόνα του γαλαξία IC 438 (Σχ. 2a). Τα άσπρα ευθύγραμμα τμήματα στο πάνω μέρος της εικόνας αντιστοιχούν στους σπειροειδείς βραχίονες του γαλαξία. Αυτό μας λέει ότι η γεωμετρία τους είναι κοντά σε αυτή μιας λογαριθμικής σπείρας. Το δεξί μέρος του Σχ. 4 είναι η αντίστοιχη εικόνα του ραβδωτού σπειροειδούς γαλαξία NGC 3367 (Σχ. 2c). Οι κόκκινοι σχηματισμοί που είναι κάθετοι στον θ-άξονα αντιπροσωπεύουν τη ράβδο του γαλαξία. Πριν το μετασχηματισμό έχουν απομονωθεί οι διαταραχές με τον ίδιο αλγόριθμο που δημιουργεί εικόνες όπως αυτές του Σχήματος 3.

Θεωρώντας ότι το δυναμικό Φ ενός γαλαξία δεν μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο, μπορούμε να το περιγράψουμε ως το άθροισμα ενός αξισυμμε-



*Σχήμα 4: Ο λογαριθμικός χάρτης των γαλαξιών IC 438 (αριστερά) και NGC 3367 (δεξιά). Η τετμημένη στο θ-lnR διάγραμμα δίνει την αζιμουθιακή γωνία στο διάστημα 0-2π, ξεκινώντας από τον μεγάλο άξονα του γαλαξία.*

τρικού όρου $\Phi_0$ και μιας διαταραχής $\Phi_1$ που αντιστοιχεί στο δυναμικό της σπείρας ή της ράβδου. Σε συνήθεις κυλινδρικές συντεταγμένες (R,θ,z) μπορούμε να γράψουμε:

$$\Phi = \Phi_0(R,z) + \Phi_1(R,\theta,z) \qquad (2)$$

Στην αξισυμμετρική συνιστώσα $\Phi_0$ περιλαμβάνονται και οι όροι που αντιστοιχούν στο κεντρικό εξόγκωμα και τη σκοτεινή ύλη. Αυτή η ανάλυση του δυναμικού σε μία αξισυμμετρική συνιστώσα και σε μία διαταραχή γίνεται κατ' αναλογία με την ανάλυση της επιφανειακής λαμπρότητας κάνοντας εύλογες υποθέσεις για το πάχος του δίσκου και την κατανομή της σκοτεινής ύλης.

Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις μπορεί να μελετηθεί η δυναμική των ραβδωτών και των σπειροειδών γαλαξιών με τη θεωρία των τροχιών. Τέτοιες μελέτες έδωσαν τα τελευταία 40 χρόνια σημαντικά αποτελέσματα για την ταχύτητα περιστροφής των σπειρών και των ράβδων και τη σημασία των μηγραμμικών φαινομένων στη διαμόρφωση της μορφολογίας τους. Πρέπει να σημειώσουμε ότι από το Πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης έχει ξεκινήσει έρευνα στον τομέα αυτό από τη δεκαετία του 1960, κυρίως μέσα από την πρωτοποριακή δουλειά του Γ. Κοντόπουλου και αργότερα του Β. Μπαρμπάνη, του Ι. Χατζηδημητρίου και πολλών άλλων. Γνωρίζουμε σήμερα ότι οι ράβδοι υποστηρίζονται από ευσταθείς ελλειπτικές τροχιές με απόκεντρα ευθυγραμμισμένα κατά μήκος ενός άξονα και ότι τελειώνουν κοντά αλλά πριν από το συντονισμό της συμπεριστροφής. Γνωρίζουμε επίσης ότι το συμμετρικό μέρος των σπειροειδών βραχιόνων στους κανονικούς σπειροειδείς γαλαξίες εκτείνεται μέχρι τον εσωτερικό συντονισμό 4/1 (βλ. εξίσωση (1)) και ότι η μορφολογία των κουτιών στις κεντρικές περιοχές πολλών γαλαξιών που παρατηρούνται από το πλάι οφείλεται στους κάθετους συντονισμούς. Σε όλες αυτές τις μελέτες, τάξη και χάος συνεργάζονται για τη διαμόρφωση των δομών που παρατηρούμε. Τα τελευταία χρόνια ο ρόλος των χαοτικών τροχιών στην υποστήριξη δομών αναβαθμίστηκε. Έγινε φανερό ότι αστέρες σε χαοτικές τροχιές μπορούν να υποστηρίξουν τις σπείρες των ραβδωτών σπειροειδών γαλαξιών (βλ. σχετικά άρθρα επισκόπησης στον τόμο "Chaos in Astronomy", Contopoulos & Patsis 2009).

Οι θεωρητικές μελέτες στον τομέα της Γαλαξιακής Δυναμικής πρέπει να βασίζονται σε συστηματική ανάλυση κατάλληλων παρατηρήσεων. Για να βρούμε τη γενική δυναμική συμπεριφορά συστημάτων όπως οι γαλαξιακοί δίσκοι χρειάζονται φωτομετρικές και φασματογραφικές παρατηρήσεις ενός μεγάλου αριθμού αντικειμένων και κυρίως η ανάλυσή τους με εξελιγμένους αλγόριθμους.

## Βιβλιογραφία


*Binney J., Tremaine S., 2008, "Galactic Dynamics", Princeton University Press*

*Block D.L., Elmegreen B.G., Wainscoat R.J., 1996, "Smooth dark spiral arms in the flocculent galaxy NGC 2841", Nature 381, 674*

*Contopoulos G., 2002, "Order and Chaos in Dynamical Astronomy", Springer-Verlag*

*Contopoulos G., Patsis P.A. (eds), 2009, "Chaos in Astronomy", Springer-Verlag*

*Croswell K., 1995, "The alchemy of the heavens", Anchor books*

*Grosbol P., 1993, "Self-Consistent models of spiral galaxies", "Galactic Dynamics and N-body Simulations", G. Contopoulos, N.K. Spyrou, L. Vlahos (eds), Springer-Verlag*

*Grosbol P., Patsis P.A., 1998, "Stellar disks of optically flocculent and grand design spirals", Astronomy and Astrophysics 336, 840*

*Grosbol P., Patsis P.A.,, Pompei E., 2004, Spiral galaxies observed in the near-infrared K band., Astronomy and Astrophysics 423, 849*

*Hubble E., 1926, "Extra-galactic nebulae", Astrophysical Journal 64, 321*

*Hubble E., 1929, "A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Volume 15, March 15, 1929: Issue 3, pp. 168-173, communicated January 17, 1929*

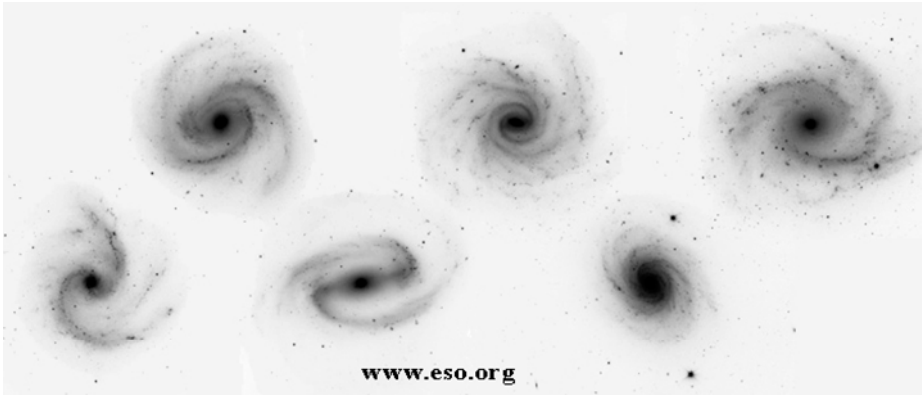
*Pasha I.I., 2004a, "Density-Wave Spiral Theories in the 1960s. I." http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0406142v1.pdf*

*Pasha I.I., 2004b, "Density-Wave Spiral Theories in the 1960s. II." http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0406143v1.pdf*

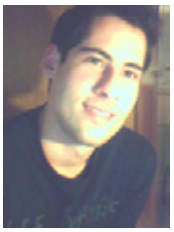
*Patsis P.A., Heraudeau Ph., Grosbol P., 2001, Spiral arms in near-infrared bands. Broad- and narrow-band NIR photometry, Astronomy and Astrophysics 323, 762*

*Patsis P.A., Skokos Ch., Athanassoula E., 2002, "Orbital Dyanmics of three-dimensional bars –III. Boxy/peanut edge-on profiles", MNRAS 337, 578*

*Rubin V., 1983, "The rotation of spiral galaxies", Science 220, 1339*

# Σύνθεση υπέρ-βαρέων στοιχείων και η νήσος της σταθερότητας



**Δημήτριος Χατζη-παναγιωτίδης**
Απόφοιτος
Τμ. Φυσικής

Μια από τις θεμελιώδεις ερωτήσεις στην Πυρηνική Φυσική είναι πόσα χημικά στοιχεία μπορούν να υπάρξουν και ποιο είναι το όριο του περιοδικού πίνακα. Αρχικά την απάντηση έδωσαν οι O. Hahn και F. Strabmann με την ανακάλυψη της πυρηνικής σχάσης. Το φαινόμενο αυτό το ερμήνευσαν με βάση το πυρηνικό πρότυπο της υγρής σταγόνας, δίνοντας ένα ανώτατο όριο για την ύπαρξη πυρήνων στον ατομικό αριθμό Z=100 περίπου. Το όριο αυτό εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ των ελκτικών πυρηνικών δυνάμεων των νουκλεονίων (πρωτόνια-νετρόνια) αφ' ενός και των απωστικών δυνάμεων Coulomb λόγω του φορτίου των πρωτονίων αφ' ετέρου. Αλλά η απωστική δύναμη Coulomb, η οποία αυξάνει ανάλογα με το $Z^2$, δεν μπορεί να εξισορροπηθεί για πολύ μεγάλο αριθμό πρωτονίων και έτσι η σχάση του πυρήνα γίνεται αναπόφευκτη για τα βαρέα στοιχεία. Η πιθανότητα ύπαρξης σταθερών πυρήνων με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο του Z=103 (υπέρβαρείς πυρήνες) προτάθηκε αρχικά από τον χημικό Glenn T. Seaborg και η περιοχή που υπάρχουν οι πυρήνες αυτοί στο διάγραμμα νετρονίων-πρωτονίων (N-Z) ονομάστηκε παραστατικά **νήσος της σταθερότητας** (island of stability) αφού είναι μια περιορισμένη περιοχή μέσα σε μια θάλασσα εξαιρετικά ασταθών πυρήνων. Οι πυρήνες αυτοί βρίσκονται μετά το Lr (Lawrencium), το τελευταίο από τις ακτινίδες, το οποίο έχει ατομικό αριθμό Z=103. Η νησίδα σταθερότητας ξεκινά με το Rf (Rutherfordium) με Z=104 και οι πυρήνες αυτοί ονομάζονται επίσης και super-transactinides.

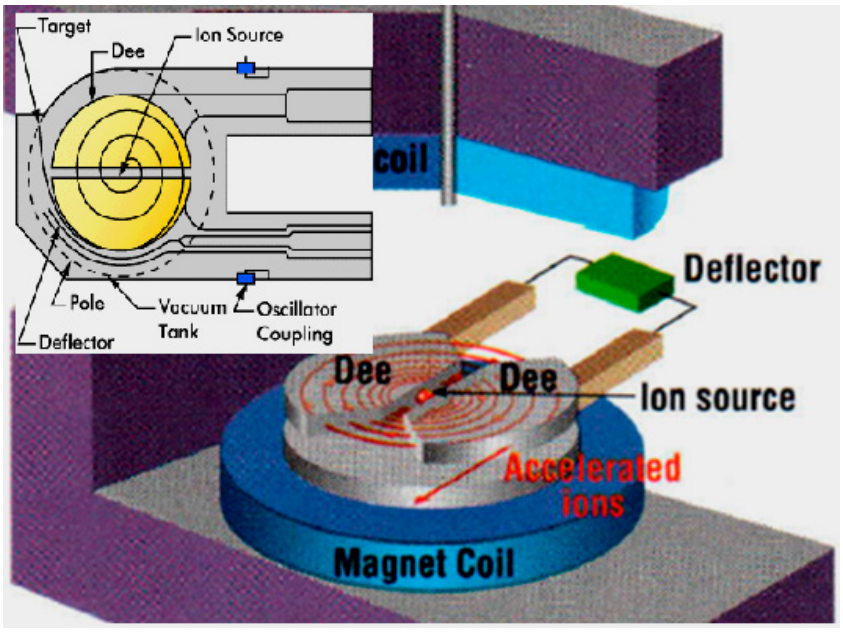
Η υπόθεση των σταθερών υπερβαρέων πυρήνων στηρίχτηκε στη θεωρία ότι οι πυρήνες αυτοί είναι δομημένοι σε φλοιούς με τρόπο παρόμοιο με αυτόν της δομής των ηλεκτρονικών φλοιών των ατόμων με μεγάλο ατομικό αριθμό, πράγμα που τους κάνει σχετικά σταθερούς. Και στις δυο περιπτώσεις οι φλοιοί αποτελούνται από κβαντισμένες ενεργειακά στάθμες, οι οποίες βρίσκονται σχετικά κοντά η μία στην άλλη, ενώ τα ενεργειακά επίπεδα δυο διαφορετικών φλοιών χωρίζονται από ένα σχετικά μεγάλο ενεργειακό κενό (χάσμα). Έτσι όταν ο αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων συμπληρώσουν τις κβαντικές στάθμες ενός φλοιού, η ενέργεια σύνδεσης του επόμενου νουκλεονίου (πρωτονίου ή νετρονίου) φτάνει σε ένα τοπικό μέγιστο (λόγω του ενεργειακού χάσματος). Το χάσμα είναι δύσκολο να ξεπεραστεί και έτσι ο συγκεκριμένος πυρήνας θα έχει μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής (άρα θα είναι και πιο σταθερός) από τα ισότοπά του που δεν έχουν συμπληρωμένους φλοιούς. Οι συμπληρωμένοι φλοιοί έχουν "μαγικούς αριθμούς" νετρονίων και πρωτονίων. Ο επόμενος διπλός μαγικός αριθμός προβλέπεται να είναι Z=114 και N=182. Ο πυρήνας αυτός αναμένεται να είναι αρκετά σταθερός και παρά το μεγάλο αριθμό πρωτονίων του να μην σχάζεται αμέσως μετά την δημιουργία του. Οι πρώτοι υπολογισμοί προέβλεπαν για τον πυρήνα αυτό χρόνους ημιζωής με τιμές ίσες περίπου με αυτές της ηλικίας του ηλιακού μας συστήματος, πράγμα που οδήγησε σε έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την εύρεση υπερβαρέων πυρήνων στη φύση, η οποία όμως έληξε χωρίς κάποιο αποτέλεσμα. Η σύνθεση υπερβαρέων πυρήνων πραγματοποιείται σε εργαστήρια μέσω αντιδράσεων σύντηξης βαρέων ιόντων, όπως στο GSI (Darmstadt της Γερμανίας), στο JNIR (Dubna της Ρωσίας) και στο GANIL (Γαλλία). Άλλα ερευνητικά κέντρα που προσπαθούν να συνθέσουν υπερβαρείς πυρήνες, είναι το Lawrence Livermore και το SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) στην Καλιφόρνια και το Brookhaven National Lab στο Long Island της Νέας Υόρκης, όπου μέχρι σήμερα έχουν γίνει αξιοσημείωτες ανακαλύψεις.

Η βασική ιδέα για τη δημιουργία ενός υπερβαρέος πυρήνα είναι η επιτάχυνση και σύγκρουση δυο διαφορετικών δεσμών στοιχείων (θετικών ιόντων τους ώστε να μπορούν να επιταχυνθούν), με άθροισμα ατομικών αριθμών ίσο με αυτό του στοιχείου που πρόκειται να δημιουργηθεί. Λόγω της μεγάλης άπωσης Coulomb που αναπτύσσεται μεταξύ των πυρήνων καθώς είναι και οι δυο θετικά φορτισμένοι, αυτοί πρέπει επιταχύνθούν σε μεγάλες ενέργειες ώστε να ξεπεραστεί το απωστικό δυναμικό και να λάβει χώρα σύντηξη των πυρήνων μεταξύ τους. Επίσης μια άλλη μέθοδος η οποία είναι και πιο βολική είναι το ένα από τα δυο στοιχεία να είναι ακίνητο (fixed target) και η δέσμη του άλλου να προσπίπτει πάνω σε αυτό. Έτσι δεν χρειάζεται να δημιουργηθούν και να επιταχυνθούν

δύο δέσμες (πράγμα που είναι τεχνικά πιο δύσκολο) αλλά μόνο μία. Για την επιτάχυνση των θετικών ιόντων συνήθως χρησιμοποιείται ένα κύκλοτρο (βλ. Σχήμα). Η βασική ιδέα λειτουργίας ενός κυκλότρου βασίζεται στην χρήση ενός ισχυρού μαγνήτη, ο οποίος παράγει ισχυρό ομογενές μαγνητικό πεδίο ανάμεσα στους δυο κυκλικούς πόλους του. Τα θετικά ιόντα που εισάγονται από το κέντρο μεταξύ των δύο πόλων, αναγκάζονται να εκτελούν κυκλική τροχιά, με συχνότητα περιστροφής η οποία είναι σταθερή για δεδομένη μάζα, φορτίο και μαγνητικό πεδίο. Καθώς η ενέργεια αυξάνει, αυξάνει αναλογικά και η ακτίνα της τροχιάς και έτσι μεγαλύτερη ταχύτητα συνεπάγεται μεγαλύτερη τροχιά. Η ενέργεια που κερδίζουν τα ιόντα προέρχεται από την επιτάχυνση που υφίστανται σε ένα θάλαμο κενού ο οποίος περιέχει τα ηλεκτρόδια σχήματος D, τα οποία είναι γνωστά σαν ''Dees''. Αυτά είναι τοποθετημένα σαν ένα επίπεδο τενεκεδένιο κουτί που είναι κομμένο στη μέση. Μια εναλλασσόμενη τάση από μια γεννήτρια ραδιοσυχνοτήτων (RF), εφαρμόζεται ανάμεσα στα Dees. Καθώς η κυκλική τροχιά των ιόντων περνάει από το διάκενο ανάμεσα στα δυο Dees, τα ιόντα επιταχύνονται και συνεχίζουν κατά μήκος μιας νέας διαδρομής με μεγαλύτερη ακτίνα τροχιάς, μέχρι να φτάσουν πάλι στο διάκενο μισή κυκλική τροχιά μετά. Η υψηλή συχνότητα της RF τάσης επιλέγεται έτσι ώστε να είναι ακριβώς ίδια με τη συχνότητα κυκλότρου που αναφέρθηκε πιο πάνω. Αυτό εξασφαλίζει ότι τα σωματίδια πάντα θα συναντούν ένα πεδίο επιτάχυνσης στο διάκενο. Όπως τα σωματίδια κερδίζουν ενέργεια, κινούνται σπειροειδώς προς τα έξω μέχρι να φτάσουν στην άκρη του μαγνήτη. Εκεί αποκλίνουν με τη βοήθεια ενός μικρού μαγνήτη (kicker) και κατευθύνονται στο πείραμα.

Το πλεονέκτημα που έχει το κύκλοτρο ως επιταχυντής είναι ότι οι διαστάσεις του, αναλογικά με άλλους επιταχυντές, είναι πολύ μικρότερες. Βέβαια η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να επιτύχει είναι περιορισμένη άλλα είναι αρκετή για πειράματα δημιουργίας νέων υπερβαρέων πυρήνων.

Υπάρχουν δυο τρόποι σύντηξης βαρέων ιόντων. Ο ένας είναι η λεγόμενη ''ψυχρή σύντηξη ιόντων'' (cold heavy-ion fusion) όπου μόλυβδος Pb (Z=82) και βισμούθιο Bi (Z=83) χρησιμοποιούνται σαν στόχοι και η δέσμη αποτελείται από πυρήνες πλούσιους σε νετρόνια όπως νικέλιο Ni (Z=28) και ψευδάργυρο Zn (Z=30), για την παραγωγή πυρήνων με Z=110, 111 και 112. Ο άλλος τρόπος ονομάζεται ''σύντηξη ακτινίδων'', στον οποίο σαν στόχοι χρησιμοποιούνται ουράνιο ($^{238}_{92}$U), πλουτώνιο ($^{244}_{94}$Pu) και κιούριο ($^{248}_{96}$Cm) και για τη δέσμη χρησιμοποιούνται νέον ($^{22}_{10}$Ne) και μαγνήσιο ($^{26}_{12}$Mg) .




*Σχηματική παράσταση ενός κυκλότρου.*

Η παραγωγή ενός υπερβαρέος πυρήνα μέσω σύντηξης ιόντων πραγματοποιείται σε δυο φάσεις. Αρχικά η ενεργειακή δέσμη ιόντων πρέπει να υπερνικήσει την άπωση Coulomb ώστε να έρθει σε επαφή με τον στόχο και να δημιουργήσει έναν υπερβαρύ σύνθετο πυρήνα (heavy compound nucleus). Στην συνέχεια αφού ο σύνθετος πυρήνας είναι διεγερμένος, για να μεταπέσει στη βασική του κατάσταση (αποδιέγερση), αποβάλλει την περίσσεια ενέργειας με τη διαδικασία της εξάτμισης-εκδίωξης νετρονίων (neutron evaporation). Στη σύντηξη ακτινίδων η ενέργεια διέγερσης του σύνθετου πυρήνα είναι περίπου 40-50 MeV, πράγμα που οδηγεί στην εξάτμιση 4 ή 5 νετρονίων. Στην ψυχρή σύντηξη ιόντων η ενέργεια διέγερσης είναι περίπου 10 MeV και έτσι η διαδικασία της εξάτμισης περιλαμβάνει την εκδίωξη ενός μόνο νετρονίου.

Το 1999 έγινε η πρώτη απόπειρα δημιουργίας του στοιχείου Z=118 (το βαρύτερο μέχρι στιγμής) μέσω της αντίδρασης ψυχρής σύντηξης:

$$^{86}\mathrm{Kr} + {}^{208}\mathrm{Pb} \rightarrow {}^{293}_{118}\mathrm{Uuo} + \mathrm{n}$$

Το 2005 χρησιμοποιήθηκε ως βλήμα το $^{48}$Ca και ως στόχος το $^{249}$Cf. Τα ιόντα του $^{48}$Ca επιταχύνθηκαν από το U400 cyclotron του Flerov Laboratory of

Nuclear Reactions στην Dubna της Ρωσίας, για τον σχηματισμό του στοιχείου Z=118 το οποίο ονομάστηκε Ununoctium. Τα εργαστήρια, έχοντας στην κατοχή τους υπερβαρείς πυρήνες, μπορούν με διάφορα πειράματα να μελετήσουν την πυρηνική δομή και τα όρια του αριθμού πρωτονίων και νετρονίων σε έναν πυρήνα (neutron-proton drip line). Είναι σχεδόν βέβαιο ότι εφόσον μπορεί να δημιουργηθεί ένας υπερβαρύς πυρήνας στο εργαστήριο, μπορεί να δημιουργηθεί και με φυσικές διεργασίες στο σύμπαν, σε κάποιο αστροφυσικό αντικείμενο (supernovae, double star system κ.λπ.). Ο τομέας αυτός αποτελεί πρόκληση για την Πυρηνική Αστροφυσική. Έτσι η μελέτη των υπερβαρέων πυρήνων βοηθάει στην κατανόηση της αστροφυσικής προέλευσης των διάφορων στοιχείων και κυρίως των πλούσιων σε νετρόνια, καθώς ο σχηματισμός τους προέρχεται από την r-process (rapid neutron capture) που είναι ένας από τους βασικούς μηχανισμούς Πυρηνοσύνθεσης.

# Υπέρ-βαρέα στοιχεία (Super Heavy Elements –SHE)

**Μ. Ζαμάνη-Βαλασιάδου**
Διατελέσασα Καθηγήτρια Τμ. Φυσικής

*Το άρθρο αυτό αποτελεί περίληψη του άρθρου που δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Nuclear Physics News International, Vol. 23 (January-March 2013) από τον Yuri Oganessian, Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow, Russian Federation, με σκοπό να αναδειχθούν τα όρια της σύνθεσης των στοιχείων.*

## 1. Εισαγωγή

Στην κβαντική ηλεκτροδυναμική, το πλανητικό μοντέλο του ατόμου δουλεύει μέχρι αρκετά υψηλές τιμές φορτίου. Αν υποτεθεί ότι ο πυρήνας είναι σημειακό φορτίο, η αστάθεια (ή καταστροφή) της δομής όπως την πρότεινε ο Rutherford φτάνει ως το Z=137. Αν ληφθούν υπόψη οι πεπερασμένες διαστάσεις του πυρήνα το όριο αυτό ανεβαίνει στο Z=173-175. Βέβαια, όπως θα δειχθεί παρακάτω, το όριο των υπαρχόντων ατόμων είναι χαμηλότερο λόγω της αστάθειας του ίδιου του πυρήνα. Όπως είναι γνωστό οι πυρήνες αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται πυρήνες με διάφορους αριθμούς πρωτονίων και νετρονίων που έχουν διαφορετικές ενέργειες σύνδεσης και χρόνους ημίσειας ζωής. Αυτοί που φαίνονται με έντονο μαύρο χρώμα είναι οι σταθεροί πυρήνες, που παραμένουν στη Γη από σχηματισμού του Ηλιακού συστήματος, περίπου $4.5\times10^9$ χρόνια πριν από σήμερα. Το τελευταίο σταθερό στοιχείο είναι ο Pb, με 82 πρωτόνια και 126 νετρόνια. Μετά τον Pb ακολουθεί το Bi με $T_{1/2}= 1.5\times10^{19}$ χρόνια και στη συνέχεια έρχονται τα βραχύβια ισότοπα του Πολώνιου (Po), Αστάτιου (At) και του Ραδόνιου (Rn) με χρόνους ημιζωής της τάξης των msec. Περαιτέρω η σταθερότητα των πυρήνων αυξάνει ξανά, με τα $^{232}$Th ($T_{1/2}=10^{10}$ χρόνια) και $^{238}$U ($T_{1/2}= 4.5\times10^9$ χρόνια) που βρίσκονται στη Γη σε σημαντικές ποσότητες.

Το Ουράνιο είναι το τελευταίο από τα στοιχεία της φύσης στον περιοδικό πίνακα. Βαρύτερα στοιχεία παράγονται τεχνητά μέσω διαφόρων πυρηνικών αντιδράσεων. Στην περιοχή των υπερουράνιων στοιχείων παρατηρείται δραστική μείωση της πυρηνικής σταθερότητας με την αύξηση του ατομικού αριθμού. Για παράδειγμα, αν προστεθούν δέκα πρωτόνια και τέσσερα νετρόνια στο Ουράνιο παρατηρείται πτώση της ημιζωής του στοιχείου που προκύπτει (το $^{102}$No) κατά $10^{16}$ φορές. Και οι δυο πυρήνες διασπώνται με αδιάσπαση. Μια περίπτωση ακόμη πιο ακραία αναμένεται για την αυθόρμητη σχάση του βαρύ αυτού πυρήνα. Η ημιζωή του (μέσω αυτής της διάσπασης) μειώνεται κατά $10^{23}$ φορές όταν πηγαίνει από το $^{92}$U στο $^{102}$No. Μια απλή επέκταση σε ακόμη βαρύτερους πυρήνες δείχνει ότι η σταθερότητά τους καθορίζεται πλήρως από την αυθόρμητη σχάση. Όταν η ημιζωή του πυρήνα μειώνεται κάτω από $10^{-14}$ s ο πυρήνας διασπάται πριν γίνει ένα άτομο από αυτά που θεωρούμε ως ανήκοντα στο πλανητικό σύστημα. Με απλές επεκτάσεις των παραπάνω η κατάσταση αυτή συμβαίνει ήδη σε στοιχεία με Z=106-108.

## 2. Πυρηνική δομή και Σχάση: Υπέρ-βαρέα στοιχεία (SHE)

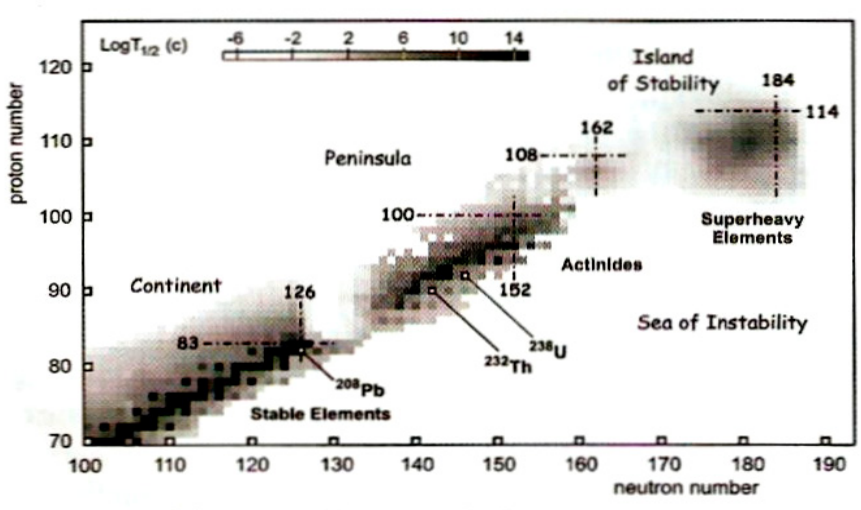
Πολλά χρόνια μετά την εμφάνιση των πυρηνικών αντιδραστήρων και τη χρήση τους στην παραγωγή τεχνητών στοιχείων μέχρι το Φέρμιο (Fm) με Z=100, οι θεωρητικές προβλέψεις που βασίζονταν στο μοντέλο της υγρής σταγόνας φαίνονταν ότι επιβεβαιώθηκαν. Όμως σύμφωνα με ανακάλυψη που έγινε

στην Dubna (1962) το στοιχείο με Z=95 ($^{242}$Am) παρουσιάζει αυθόρμητη σχάση με δυο διαφορετικούς χρόνους ημιζωής. Αργότερα στο FLNR (Flerov Laboratory of Nuclear Reactions) και άλλα εργαστήρια, παρατηρήθηκαν παρόμοια φαινόμενα σε άλλους 31 πυρήνες με Z=92-97. Στους πυρήνες αυτούς η σχάση προέρχεται από δυο καταστάσεις την βασική και την ισομερή. Η ύπαρξη διπλού φράγματος σχάσης (shape isomers) σε βαρείς πυρήνες είναι ασύμβατη με τη συμπεριφορά σταγόνας φορτισμένου υγρού το οποίο δεν μπορεί να βρίσκεται σε δυο ή περισσότερες διαφορετικές καταστάσεις. Μετά από πειράματα που συνεχίστηκαν με τα ίδια αποτελέσματα, ήταν προφανές ότι το μακροσκοπικό μοντέλο του πυρήνα ως σταγόνα άμορφου υγρού έπρεπε να διορθωθεί.

Την εποχή εκείνη ήταν ήδη γνωστό ότι σε μερικούς πυρήνες με αριθμό πρωτονίων ή/και νετρονίων που αποκαλούνται "μαγικοί" η ενέργεια σύνδεσής τους, στην βασική τους κατάσταση, αυξάνει σημαντικά. Είναι γνωστό ότι το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται με το μοντέλο των φλοιών. Όπως πιστεύονταν μέχρι τότε σε μεγάλες παραμορφώσεις του πυρήνα μια τέτοια δομή εξαφανίζεται και το φαινόμενο της σχάσης ακολουθεί το μοντέλο της υγρής σταγόνας κατά προσέγγιση. Στην πραγματικότητα η πυρηνική δομή δεν εξαφανίζεται αλλά μεταβάλλεται, και παραμένει καθοριστική στην πυρηνική σχάση. Ο υπολογισμός της ενέργειας κατά τη διαδικασία της παραμόρφωσης, που λαμβάνει όμως υπόψη τη δομή του πυρήνα, αναπαράγει το υψηλό φράγμα της σχάσης που παρατηρήθηκε πειραματικά στον $^{208}$Pb (Z=82, N=126) που είναι διπλά μαγικός (τόσο ως προς τον αριθμό των πρωτονίων όσο και των νετρονίων). Ερμήνευε επίσης και την ύπαρξη των SF-ισομερών* του Ουρανίου όπως και των υπερουράνιων πυρήνων καθώς και άλλων ανωμαλιών που παρατηρήθηκαν και θεωρήθηκαν ανεξήγητες με το μοντέλο της υγρής σταγόνας.

Αν οι θεωρητικοί υπολογισμοί είναι σωστοί, οι πυρήνες πλησίον των κλειστών φλοιών θα πρέπει να έχουν υψηλά φράγματα σχάσης. Αυτός είναι ο λόγος που προκαλεί την σταθερότητα στους SHN (Super Heavy Nucleus) ως προς την αυθόρμητη σχάση. Με άλλα λόγια οι πυρήνες που βρίσκονται στα όρια της "νήσου σταθερότητας" θα πρέπει να είναι λιγότερο σχάσιμοι και θα επιβιώνουν καλύτερα. Επιπλέον η αυξανόμενη πιθανότητα σχηματισμού των υπερ-βαρέων πυρήνων (Super Heavy Nuclei, SHN) θα ήταν μια άμεση ένδειξη του φαινομένου σχηματισμού νέων πυρηνικών φλοιών (π.χ. Z=114, N=184).

Ήταν λοιπόν φυσικό να επεκταθούν πλέον οι μελέτες των πυρήνων στην περιοχή των στοιχείων με Z>100, που θα έπρεπε να είναι τελείως αστα-θείς σύμφωνα με το μοντέλο της υγρής σταγόνας. Οι υπολογισμοί αυτοί έφεραν αποτελέσματα που δεν ήταν αναμενόμενα. Ότι δηλαδή κλειστοί φλοιοί πρωτονίων και νετρονίων υφίστανται και στην "περιορισμένη περιοχή" των πυρήνων. Σύμφωνα με την θεώρηση αυτή ο πυρήνας με μάζα 270 (Z=108 και N=162) έχει φράγμα σχάσης και συνεπώς χαρακτηρίζεται, μαζί με τους γειτονικούς του πυρήνες, από σχετικά μεγάλες ημιζωές $T_{SF}$ =$10^{0}$-$10^{4}$ s, έναντι του $10^{-19}$ s που θα αναμένονταν χωρίς το φαινόμενο των φλοιών. Ακόμη μεγαλύτερη σταθερότητα αναμένονταν για τον SHN με Z=114 και N=184. Και εδώ παρουσιάζεται ισχυρά το φαινόμενο των νέων πυρηνικών φλοιών το οποίο εφαρμόζεται όπως και στην περίπτωση του διπλά μαγικού πυρήνα Z=82, N=126 του σφαιρικού πυρήνα του Pb που τον κάνει ιδιαίτερα σταθερό. Νεώτεροι υπολογισμοί έδειξαν ότι οι βαρείς πυρήνες αποτελούν ένα απέραντο πεδίο στο χάρτη των νουκλιδίων, ένα πραγματικό "νησί σταθερότητας" όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1. Οι ημιζωές των μακρόβιων πυρήνων που βρίσκονται στην κορυφή της "νήσου της σταθερότητας" πρέπει να φτάνουν, σύμφωνα με κάποιες θεωρητικές προβλέψεις, τις χιλιάδες ως και εκατομμύρια χρόνια. Από το 1970 ερευνητικά




*Σχήμα 1: Χάρτης των βαρέων στοιχείων.*

* *SF= spontaneous fission (αυθόρμητη σχάση)*

κέντρα άρχισαν να πραγματοποιούν πειράματα που αφορούσαν την σύνθεση των υπέρβαρέων στοιχείων.

Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι σύμφωνα με τις θεωρητικές προβλέψεις πυρήνες που ανήκουν στο "νησί σταθερότητας" είναι σχεδόν σταθεροί ως προς την αυθόρμητη σχάση. Θα πρέπει να διασπώνται με άλφα-διάσπαση δίνοντας ένα θυγατρικό πυρήνα με μάζα που είναι τέσσερις μονάδες μικρότερος από τον μητρικό. Άρα η άλφα-διάσπαση θα φέρνει τους πυρήνες αυτούς πιο κοντά στα όρια της "νήσου της σταθερότητας" και έτσι για τους πυρήνες αυτούς η πιθανότητα της αυθόρμητης σχάσης ως προς την άλφα-διάσπαση θα μεγαλώνει γρήγορα. Συνεπώς θα αναμένεται ότι ο τρόπος αποδιέγερσης ενός υπέρ-βαρύ πυρήνα θα αποτελείται από μακρά αλυσίδα διασπάσεων άλφα που θα τελειώνει με αυθόρμητη σχάση. Η παρατήρηση μιας τέτοιας ακολουθίας θα δίνει μια απ' ευθείας απόδειξη της ύπαρξης των υπέρ-βαρέων πυρήνων.

### 3. Αποτελέσματα των ερευνών- ιδιότητες της διάσπασης των SHE

Στα πρώτα πειράματα του 2000-2001, έγινε η σύνθεση υπέρ-βαρέων ισοτόπων με ατομικούς αριθμούς 114 και 116 μέσω των αντιδράσεων $^{244}$Pu, $^{248}$Cm+$^{48}$Ca αντί των νετρονίων από αντιδραστήρες υψηλής ροής μέχρι τότε. Στα χαρακτηριστικά της διάσπασής τους παρατηρήθηκε για πρώτη φορά σημαντική αύξηση της πυρηνικής σταθερότητας όσο οι πυρήνες πλησιάζουν προς πυρήνες με κλειστούς φλοιούς, Z=114 και N=184. Με την πρόσθεση οκτώ νετρονίων στους ήδη γνωστούς πυρήνες 110 και 112, που παράγονται με ψυχρή σύντηξη, η ημιζωή αυξάνει κατά σχεδόν τέσσερις τάξεις μεγέθους. Να σημειωθεί αυτά τα νέα ισότοπα έχουν μόνο 171 και 173 νετρόνια και συνεπώς είναι ακόμη μακριά από τον φλοιό με N=184. Το 2004 δύο άλλα ισότοπα το 114 και το 116 παράχθηκαν με τις αντιδράσεις $^{242}$Pu, $^{245}$Cm +$^{48}$Ca ενώ κατά την αντίδραση $^{249}$Cf +$^{48}$Ca παρατηρήθηκε η διάσπαση του βαρύτερου πυρήνα $^{249}$118. Κατά τα 2007-2010 τα αποτελέσματα της σύνθεσης των ισοτόπων 112, 114 και 116 αναπαράχθηκαν σε σειρά ανεξαρτήτων πειραμάτων σε διάφορα εργαστήρια με διαφορετικές τεχνικές (πίνακας 1). Το 2012 σύμφωνα με πρόταση των συγγραφέων που μετείχαν στις έρευνες, η IUPAC έδωσε ονόματα και σύμβολα στα στοιχεία 114 και 116 που είναι το Flerovium (Fl) και το Livermorium (Lv), αντίστοιχα, προς τιμήν των συνεργαζόμενων εργαστηρίων FLNR (Dubna) και LLNL (Livermore).

Τα τελευταία αποτελέσματα των χαρακτηριστικών της διάσπασης των ισοτόπων των 6 νέων υπερ-βαρέων στοιχείων μαζί με τα προϊόντα της διάσπασής τους (48 νέα νουκλίδια) μπορούν να συγκριθούν με τις προβλέψεις της μικροσκοπικής θεωρίας. Στο σχήμα 2α,β δίνεται μια τέτοια σύγκριση για πυρήνες με άρτιο Z γιατί για αυτούς τους πυρήνες μπορούν να γίνουν πιο ακριβείς υπολογισμοί.

Τα βασικά αποτελέσματα των πειραμάτων που αφορούν στα χαρακτηριστικά των διασπάσεων έχουν ως εξής: Και τα 15 ισότοπα των βαρύτερων πυρήνων με Z≥112 και N≥173 που συντέθηκαν κατά τις αντιδράσεις Actinides + $^{48}$Ca διασπώνται κυρίως με άλφα-διάσπαση. Η αυθόρμητη σχάση τους δεν μπορεί να παρατηρηθεί στα πειράματα αυτά. Οι πειραματικές τιμές των ενεργειών των σωματιδίων άλφα αποκλίνουν από τις υπολογισμένες τιμές κατά μέσο όρο μόνο 5%. Οι ημιζωές τους είναι 10 φορές υψηλότερες από αυτές που προβλέπονται από το μακροσκοπικό-μικροσκοπικό μοντέλο. Μεταξύ των ισοτόπων των ελαφρύτερων νουκλιδίων (τα προϊόντα μετά την άλφα-διάσπαση των υπέρ-βαρέων) η αυθόρμητη σχάση μετρήθηκε μόνο σε 13 από αυτά. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2a-c οι πυρήνες αυτοί βρίσκονται στην περιοχή όπου η επίδραση του φαινόμενου των κλειστών φλοιών των νετρονίων με N=162 και N=184 είναι ελάχιστη. Στο Σχήμα 2γ φαίνονται οι ημιζωές της άλφα διάσπασης των ισοτόπων των στοιχείων 110-118, με περιοχή μαζών A=265-294. Και τα τρία τμήματα του Σχήματος 2 δίνουν μια εξαιρετική εικόνα του φαινόμενου των νέων πυρηνικών φλοιών που έχουν σαν αποτέλεσμα την ουσιαστική αύξηση της σταθερότητας των πιο βαρέων στοιχείων.

Οι ανακαλύψεις αυτές των SHE δείχνουν ότι όταν αυξάνει ο ατομικός αριθμός του τελευταίου σταθερού ισοτόπου (Pb)

***Πίνακας 1. Πειραματική επιβεβαίωση των στοιχείων Z=112, 114, 116 από άλλα ανεξάρτητα πειράματα***

| A/Z | Διάταξη | Εργαστήριο |
|---|---|---|
| $^{283}$112 | SHIP | GSI, Darmstadt |
| $^{283}$112 | COLD | PSI-FLNR, Dubna |
| $^{286,287}$114 | BGS | LBNL, Berkeley |
| $^{288,289}$114 | TASCA | GSI-Mainz |
| $^{292,293}$116 | SHIP | GSI, Darmstadt |

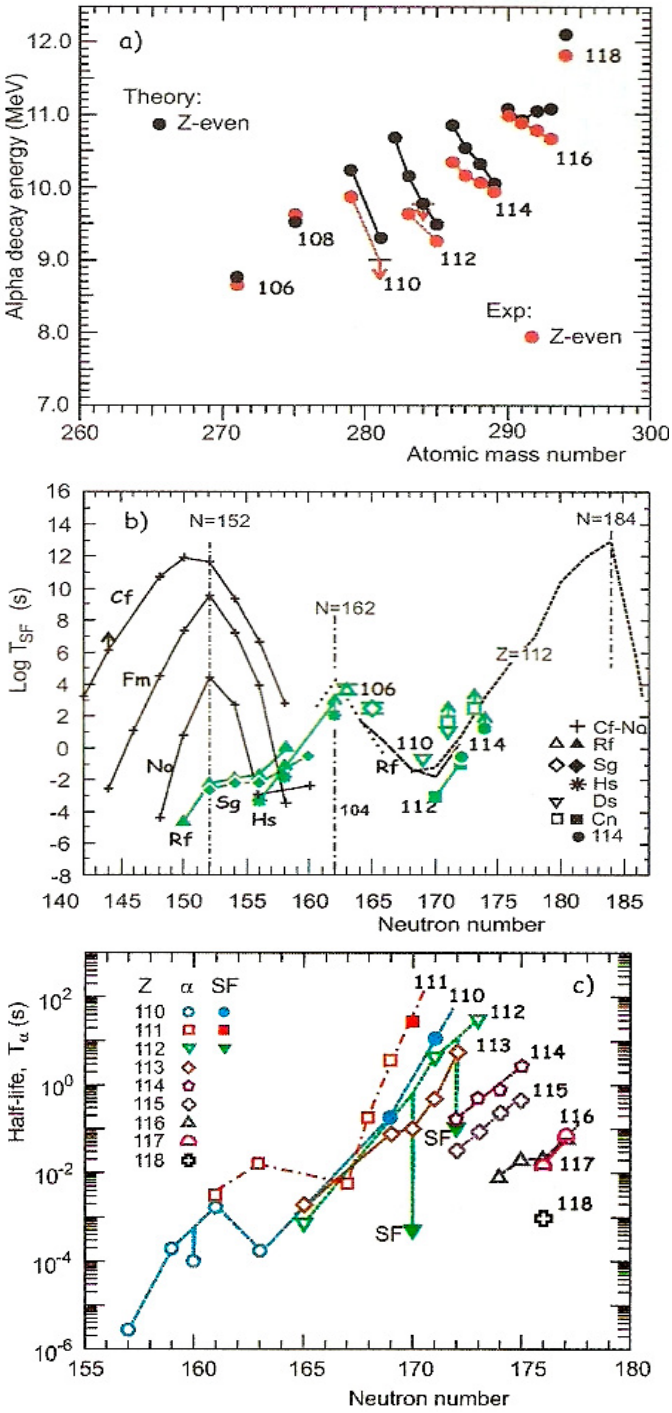
κατά 44% παρατηρείται εντυπωσιακή ικανότητα επιβίωσης των πυρήνων. Στο πεδίο των περιορισμένων δυνάμεων Coulomb, που αναφέρεται στο φαινόμενο εμφάνισης των νέων πυρηνικών φλοιών, η ενέργεια σύνδεσης της βασικής κατάστασης αυξάνει, και εμφανίζονται φράγματα σχάσης που συντελούν στην ύπαρξη ενός ευρέος πεδίου σταθερότητας των υπέρ-βαρέων στοιχείων. Οι βασικές προβλέψεις της σύγχρονης θεωρίας ως τον περιορισμό των πυρηνικών μαζών έχουν επιβεβαιωθεί πειραματικά.

## 4. Προοπτικές

Περιοριζόμαστε στα παραδείγματα αυτά τα οποία είναι μακράν της παρουσίασης του ενδιαφέροντος της πλήρους μελέτης των SHE. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δυστυχώς το αντικείμενο που μελετάμε είναι πολύ δύσκολο γιατί τα SHE παράγονται σε εξαιρετικά μικρές ποσότητες. Οι προσπάθειες να προχωρήσουμε πέρα από τις αντιδράσεις Aktinides +$^{48}$Ca με βαρύτερα βλήματα όπως $^{50}$Ti, $^{54}$Cr, $^{58}$Fe και $^{64}$Ni δεν έχουν δώσει αποτελέσματα. Αυτό δείχνει ότι η ενεργός διατομή της παραγωγής των SHE με Z=119 και Z=120 μειώνεται δραστικά. Ο σχηματισμός του φλοιού με N=184 είναι σχεδόν αδύνατος εξ αιτίας της χαμηλής έντασης της δέσμης των ραδιενεργών πυρήνων που έχουν περίσσεια νετρονίων πάνω από το $^{48}$Ca (N/Z=1.4).

Κατά την γνώμη μας, σε σχέση με την συνέχιση των πειραμάτων με Z>118, θα ήταν πιο λογικό να μελετηθούν λεπτομερώς οι ιδιότητες των στοιχείων που έχουν ήδη παραχθεί κατά τις αντιδράσεις Aktinides +$^{48}$Ca με ενεργές διατομές 1-10 pb. Νέα δεδομένα των ιδιοτήτων των στοιχείων αυτών που θα βασίζονται σε καλύτερη στατιστική θα ήταν προτιμότερα από την διερεύνηση της σύνθεσης νέων SHE.

Εκτιμάται ότι η πρόοδος στην τεχνολογία των επιταχυντών, η πιο αποτελεσματική συλλογή των ισοτόπων των βαρέων ακτινιδών (Z=94-98) που παράγονται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες υψηλής ροής, ο υψηλός διαχωρισμός τους από τους separators μαζί με νέες τεχνικές απομόνωσης και καταγραφής των σπάνιων εκπομπών των βαρύτερων πυρήνων θα μπορούσε να ωθήσει τον ρυθμό παραγωγής των SHE κατά δυο τάξεις μεγέθους σε σύγκριση με τις σημερινές πειραματικές δυνατότητες. Ελπίζουμε ότι οι ιδέες αυτές θα υλοποιηθούν στις νέες εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται στο Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (JINR), "το εργοστάσιο των SHE", ως μέρος των προγραμμάτων έρευνας και της διεθνούς συνεργασίας σε αυτό το πεδίο της Φυσικής.




*Σχήμα 2. Ιδιότητες εκπομπής των SHN: α) ενέργειες των σωματιδίων άλφα (θεωρία και πείραμα) β) Χρόνοι ημιζωής της αυθόρμητης σχάσης, των πυρήνων με άρτιο Z, σαν συνάρτηση του αριθμού των νετρονίων τους. γ) Χρόνοι ημιζωής, των πυρήνων με άρτιο Z, της άλφα διάσπασης των SHN.*

## 5. Ευχαριστίες

Η πειραματική έρευνα που αφορά στην σύνθεση και την προέκταση στις ιδιότητες των στοιχείων συγκαταλέγεται μεταξύ των βασικών επιστημονικών ενδιαφερόντων του FILNER (Dubna) εδώ και 55 χρόνια, ξεκινώντας πρακτικά από πειράματα με νετρόνια μέχρι αντιδρά-

σεις με βαρέα ιόντα. Τα τελευταία 15 χρόνια ένα ουσιαστικό τμήμα του προγράμματος αυτού πραγματοποιήθηκε με το $^{48}$Ca. Το πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε σε συνεργασία με ερευνητικές ομάδες του LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) και το Research Institute of Atomic Reactors (Dimitrograd, Russia). Το 2006 στα πρώτα πειράματα χημείας του στοιχείου 112 με δέσμη $^{48}$Ca πραγματοποιήθηκαν μέσω της συνεργασίας: Paul Scherrer Institute (PSI, Villigen), το πανεπιστήμιο της Βέρνης και το Institute of Electronic Technology (IET, Warsaw). Από το 2008, σε στενή συνεργασία με το Oak Ridge National Laboratory (ORNL, Oak Ridge) συντέθηκαν ισότοπα του στοιχείου 117 μέσω της αντίδρασης $^{249}$Bk +$^{48}$Ca και η έρευνα επεκτάθηκε σε πυρήνες με περιττό Z. Στην έρευνα αυτή συμμετείχε και η ομάδα του καθηγητή J. Hamilton Vanderbilt University (Nashville). Από το 2010 στην ανάπτυξη νέων μεθόδων προσέγγισης των ιδιοτήτων της διάσπασης LLNL (Lawrence Livermore National Laboratory) και το Research Institute of Atomic Reactors (Dimitrograd, Russia). Το 2006 στα πρώτα πειράματα χημείας του στοιχείου 112 με δέσμη $^{48}$Ca πραγματοποιήθηκαν μέσω της συνεργασίας: Paul Scherrer Institute (PSI, Villigen), το πανεπιστήμιο της Βέρνης και το Institute of Electronic Technology (IET, Warsaw). Από το 2008, σε στενή συνεργασία με το Oak Ridge National Laboratory (ORNL, Oak Ridge), συντέθηκαν ισότοπα του στοιχείου 117 μέσω της αντίδρασης $^{249}$Bk +$^{48}$Ca και η έρευνα επεκτάθηκε σε πυρήνες με περιττό Z. Στην έρευνα αυτή συμμετείχε και η ομάδα του καθηγητή J. Hamilton, Vanderbilt University (Nashville). Από το 2010 στην ανάπτυξη νέων μεθόδων προσέγγισης των ιδιοτήτων της διάσπασης των υπερ-βαρέων στοιχείων συνεργαστήκαμε με ομάδες από τα Argonne National Laboratory (ANL, Argonne) και TAMU Cyclotron Institute (Texas). Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους συνεργάτες μου και τους συνσυγγραφείς της πλειονότητας των πρωτότυπων δημοσιεύσεων για την σκληρή δουλειά τους και την ενεργό συμμετοχή τους στο πειραματικό πρόγραμμα της σύνθεσης και της μελέτης των υπέρ-βαρέων στοιχείων.

*Τις ευχαριστίες του συγγραφέα και κύριου ερευνητή Yuri Oganessian, ο οποίος έχει προταθεί για το βραβείο Nobel της Φυσικής για αυτές τις έρευνες, τις μετέφερα αυτούσιες για να διαλευκάνω την επιστημονική συζήτηση γύρω από τα εργαστήρια στα οποία ανακαλύφθηκαν τα υπέρ-βαρέα στοιχεία και ιδιαίτερα του τελευταίου στοιχείου, του Z=118.*

# Περιήγηση

## Smile, say "Bachinovo"!

### *Εμπειρίες από το εαρινό σχολείο Πυρηνικής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο Neofit Rilski*

**Δάφνη Παρλιάρη**
Φοιτήτρια
Τμ. Φυσικής

**1η μέρα**

Κάθε φορά ορκίζομαι ότι θα ετοιμαστώ από νωρίς όταν έχω να κάνω ταξίδι και κάθε φορά κάνω τα ίδια. Έτσι και τώρα, τρεις ώρες πριν ξεκινήσει το λεωφορείο του τουριστικού πρακτορείου για την πόλη του Blagoevgrad, έψαχνα φουρκέτες. Το κακό ήταν ότι η πρόγνωση του καιρού για τη Νοτιοδυτική Βουλγαρία δεν ήταν πολύ ενθαρρυντική κι έπρεπε να καθίσω πάνω στη βαλίτσα μου για να χωρέσει τις μπότες μου. Με λίγη τύχη και πολλή υπομονή, λίγο αργότερα εκείνη τη Δευτέρα το πρωί συνάντησα τα υπόλοιπα 7 παιδιά με τα οποία θα συμμετείχα στο 6ο εαρινό σχολείο Πυρηνικής Φυσικής που διοργάνωνε το πανεπιστήμιο Neofit Rilski του Bachinovo. Η ώρα μέχρι την αναχώρησή μας πέρασε με συστάσεις, καθώς δε γνωριζόμασταν από πριν, γέλια και σχέδια για την παραμονή μας στη Βουλγαρία. Η Γεωργία κέρδισε την αγάπη μου όταν μου έκανε χώρο στη βαλίτσα της για τα ξεχασμένα καλλυντικά μου και κάπως έτσι επιβιβαστήκαμε λίγα λεπτά μετά τις 15:30 στο γαλάζιο λεωφορείο που θα μας πήγαινε στο συνέδριο. Εντυπωσιαστήκαμε από την περιποίηση που μας επιφύλασσαν οι Βούλγαροι πράκτορες μας, οι οποίοι σε τακτά διαστήματα μας μοίραζαν αναψυκτικά και κρουασάν. Με εξαίρεση το Δημοσθένη που νευρίαζε κάθε φορά που τον ξυπνούσαν για να τον ταΐσουν, οι υπόλοιποι το χαρήκαμε πολύ. Το ταξίδι ήταν σύντομο και με εξαίρεση μια καταιγίδα που μας έπιασε έξω από τις Σέρρες η ώρα κύλησε χωρίς να το καταλάβουμε. Στις 19:30 είχαμε ήδη φτάσει στο κέντρο του Blagoevgrad και επιβιβαστήκαμε στο βανάκι του πανεπιστημίου που μας περίμενε. Η θερμοκρασία ήταν αισθητά χαμηλότερη από της Θεσσαλονίκης, οπότε κουμπωθήκαμε και απολαύσαμε τη διαδρομή. Το πανεπιστημιακό κέντρο του Bachinovo βρίσκεται 3 χιλιόμετρα έξω από την πόλη και σιγά-σιγά οι ψηλές πολυκατοικίες και οι ανοικτοί δρόμοι αντικαταστάθηκαν από πλούσια πράσινη βλάστηση, μικρούς καταρράκτες και τις εγκαταστάσεις του Bachinovo. Η ομάδα μας ήταν η πρώτη που έφτασε (μας είχαν ενημερώσει ότι περιμέναμε ακόμα Βούλγαρους, Σκοπιανούς και Ρουμάνους) κι έτσι είχαμε όλο το κτίριο δικό μας. Θα φι-

λοξενούμασταν στο συνεδριακό κέντρο που διαθέτει και δωμάτια για τους συνέδρους. Αν και όλοι οι χώροι ήταν πολύ φροντισμένοι, διαπιστώσαμε ότι λίγοι από τους υπεύθυνους μιλούσαν αγγλικά με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να μάθουμε το πρόγραμμα των διαλέξεων. Ευτυχώς ο Μάριος έσωσε την κατάσταση όταν με τα λίγα βουλγάρικα που ήξερε μπόρεσε να μας αγοράσει καφέ από το κυλικείο. Καθώς την πρώτη μέρα δε θα δίνονταν διαλέξεις αποφασίσαμε να πάμε μια βόλτα στην πόλη για να τη δούμε με την ησυχία μας. Περιττό να πω ότι οι δυνατές φωνές και τα γέλια μας ήταν τα μόνα που ακούγονταν σε μια χώρα που έχει μάθει να κοιμάται νωρίς, και οι σερβιτόροι στην πιτσαρία που φάγαμε έμοιαζαν περισσότερο κουρασμένοι όταν φύγαμε. Συζητώντας για τις χαμηλές τιμές, επιστρέψαμε στα δωμάτιά μας και ετοιμαστήκαμε για την επόμενη μέρα.

## 2η μέρα

Το ξύπνημα ήταν αρκετά πρωινό. Έπρεπε να κατέβουμε στη μεγάλη αίθουσα για το πρωινό μας και ίσως για την έναρξη του συνεδρίου. Η κινητή μας εγκυκλοπαίδεια, ο Κορνήλιος, δεν είχε μπορέσει να βρει το πρόγραμμα του συνεδρίου στη σελίδα του πανεπιστημίου και η υπεύθυνή μας δεν μπορούσε να μας ενημερώσει. Οι οχτώ μας λοιπόν φάγαμε μόνοι στο εστιατόριο κι εγώ ενκνευριζόμουνα όλο και πιο πολύ που δεν υπήρχε καφές ούτε για δείγμα.

Τελικά μάθαμε ότι οι εναρκτήριες ομιλίες θα γίνονταν το μεσημέρι και η ομόφωνη απόφαση ήταν να ανέβουμε στα δωμάτιά μας πάλι για ύπνο. Η Καρολίνα άνοιξε την τηλεόραση και αποκοιμηθήκαμε ακούγοντας ένα ντοκιμαντέρ για τα αλιεύματα στο Βόλγα. Με μεγάλη μας χαρά στο μεσημεριανό φαγητό είδαμε τους φοιτητές από τις υπόλοιπες χώρες καθώς και τους Ρώσους καθηγητές που θα μας μιλούσαν. Οι εισαγωγικές ομιλίες περιλάμβαναν μια περιγραφή του ανιχνευτή πολλαπλών χρήσεων του NICA collider στη Dubna και τις σπάνιες διασπάσεις των καονίων από τους καθηγητές Kekelidze και Belushkin. Τα θέματα ήταν αρκετά ενδιαφέροντα και κατανοητά, δε θα ισχυριστώ όμως ότι δεν ανακουφιστήκαμε φεύγοντας από την τελευταία διάλεξη. Παρά την κούρασή μας ετοιμαστήκαμε για το πάρτι υποδοχής που θα δίνονταν για όλους τους σύνεδρους το βράδυ. Συνηθισμένοι ως Έλληνες, φτάσαμε με 45' καθυστέρηση. Εκείνη την ώρα το μόνο τραπέζι που είχε μείνει ελεύθερο για τους οχτώ μας ήταν ένα μικρούτσικο μπροστά από τον μπουφέ και κάτω ακριβώς από έναν προβολέα. Νιώθοντας όλους να μας κοιτάνε, στριμωχτήκαμε στις θέσεις μας και υποκύψαμε στην πείνα μας. Ξεκινήσαμε τις διαδρομές στον μπουφέ γεμίζοντας πιάτα για τον εαυτό μας και ικανοποιώντας παραγγελιές για περισσότερα παϊδάκια και ψωμί. Κι ενώ οι υπόλοιπες αποστολές έτρωγαν και μιλούσαν αθόρυβα στις γωνιές τους, ο Δημοσθένης άδειαζε μπουκάλια κρασιού για να γεμίσει τα ποτήρια μας και ο Ηλίας μου έφερνε κεκάκια. Έχοντας χορτάσει, ανταποκριθήκαμε στην πρόσκληση του καθηγητή Stoyanov και ξεκινήσαμε ένα συρτάκι. Παίρνοντας τη σκυτάλη οι Βούλγαροι συνέχισαν με δικούς τους παραδοσιακούς χορούς, τους οποίους φυσικά τιμήσαμε κι εμείς με πρώτες και καλύτερες την Ελένη και τη Γεωργία. Από εκεί και μετά δε σταματήσαμε να χορεύουμε και καταφέραμε να δώσουμε ένα πολύ ελληνικό χρώμα στο πάρτι που θα θυμούνται για καιρό.

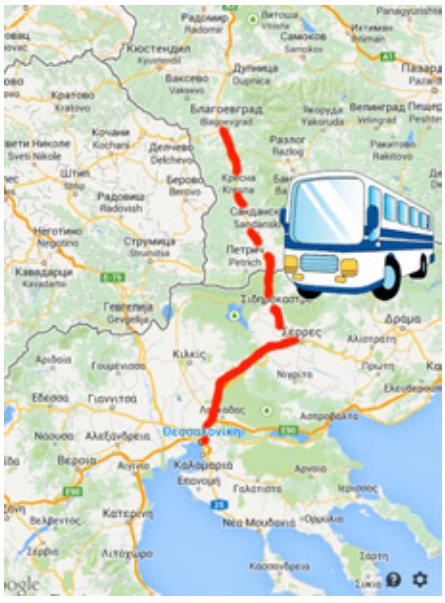
## 3η μέρα

Ως γνωστόν οι καταχρήσεις δε συμβαδίζουν με τις σπουδές και το επόμενο πρωί δεν κατάφερα να πάω στις πρωινές διαλέξεις. Οι περισσότερο αφοσιωμένοι συνάδελφοί μου (που είναι πιο ανθεκτικοί στο ποτό) παρακολούθησαν με αυτοθυσία τους δύο πρώτους καθηγητές και γρήγορα παρέδωσαν τα όπλα. Αφιερώσαμε τη μέρα στον εσπρέσο κάτω από τον ήλιο, σε μια βόλτα στο Blagoevgrad και σε φωτογραφίες στην κοίτη του ποταμού του. Συζητώντας τη χτεσινή βραδιά και σχολιάζοντας την αντοχή μερικών-μερικών σε βότκα, επιστρέψαμε πάνω στην ώρα για την ομιλία σχετικά με τη βιολογία και τη φυσική. Ντρέπομαι που το ομολογώ αλλά δεν έδινα πολλή προσοχή σε αυτά που άκουγα, και αυτό που θυμάμαι περισσότερο είναι τα γέλια μας όταν ο Κορνήλιος κουνούσε καταφατικά το κεφάλι όση ώρα ο καθηγητής απαντούσε στην ερώτηση του μιλώντας ρώσικα. Για το βράδυ είχε ετοιμαστεί από τους διοργανωτές ένα επίσημο δείπνο σε κοντινό εστιατόριο. Ωστόσο η επίσημη ατμόσφαιρα, η μουσική που δεν ταίριαζε στα γούστα μας και η διάταξη των θέσεων που δεν επέτρεπε την επικοινωνία με τους καινούριους μας φίλους τους Βούλγαρους, σύντομα μας κούρασαν και μας έστειλαν από νωρίς στα κρεβάτια μας.

## 4η μέρα

Ξημέρωσε η Πέμπτη, μέρα της επιστροφής. Είχαμε πάρει απόφαση ότι οι ομιλίες δεν είχαν το αναμενόμενο ενδιαφέρον και μετά το πρωινό ετοιμάσαμε τις βαλίτσες μας. Χαιρετηθήκαμε με τους Βούλγαρους στο διάδρομο αν και τους κρατούσαμε λίγη κακία: αργά το προηγούμενο βράδυ είχαν ξεσηκώσει όλο τον όροφο με τα τραγούδια τους και με τις ιδιαίτερα θορυβώδεις προσκλήσεις τους να τους κάνουμε παρέα. Στο δρόμο της επιστροφής κι ενώ ο καθένας μας παρακολουθούσε μια ταινία στην οθόνη του καθίσματός του, αποφάσισα ότι το ταξίδι άξιζε τον κόπο και με το παραπάνω. Μπορεί οι περισσότεροι που γνωρίσαμε να μην είχαν πάρει lower, μπορεί το συνέδριο να υστερούσε από άποψη οργάνωσης, μπορεί μερικές ομιλίες να μην ήταν όσο ενδιαφέρουσες περιμέναμε. Ωστόσο η γνωριμία μας με ξένους συμφοιτητές μας, η επαφή μας με καταξιωμένους επιστήμονες και η αίσθηση που αποκομίσαμε ότι η ακαδημαϊκή έρευνα δεν είναι ένα προνόμιο που ανήκει σε λίγους, μας αποζημίωσαν και με το παραπάνω. Από την άλλη, η επιμονή του Δημοσθένη να πληρώνουμε παντού με ευρώ, ο Ρώσος που μεθυσμένος έφερε μια τούμπα μπροστά μας, τα 2 χιλιόμετρα που περπατήσαμε μέσα στο σκοτάδι και η ακλόνητη πεποίθηση του Κορνήλιου ότι δεν κινδυνεύουμε από λύκους, οι πολυάριθμες κατακτήσεις της Καρολίνας, το ζεϊμπέκικο που χόρεψε ο Μάριος μαζί μου, το βαλς της Ελένης με τον ηλικιωμένο καθηγητή και η παραλίγο δηλητηρίαση του Μάριου από τηγανητές πατάτες και μαντηλάκια απολύμανσης, είναι αυτά που θα μου μείνουν πάνω από όλα.

Μια εμπειρία που δε θα ξεχάσουμε κι ένα συνέδριο που αξίζει να επισκεφτούν κι άλλοι συνάδελφοί μας. Σχεδόν τους συγχωρήσαμε που δεν ξέρουν τι θα πει φρψαπές…



# Περί της Αβεβαιότητας: Ηράκλειτος

## (Ηράκλειτος ο «Σκοτεινός»!)

**Γεώργιος Θεοδώρου**
Καθηγητής Τμ. Φυσικής

Το παρόν άρθρο επεξεργάζεται την αβεβαιότητα. Την επεξεργασία αυτή την ξεκίνησε ο Ηράκλειτος (~540-480 π.Χ.) που ήταν από τους κορυφαίους Έλληνες στοχαστές της αρχαιότητας. Οι άποψη των στοχαστών αυτών (υλιστές φιλόσοφοι) μας ενδιαφέρει, μια και ζούμε στον κόσμο της Φύσης. Ο σχολιασμός όμως που θα κάνω είναι σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα των Θετικών Επιστημών και όχι της αρχαιότητας. Τέλος, στο παρόν σχόλιο δεν ξεχωρίζω την άμεση από την έμμεση συμβολή του Ηράκλειτου καθώς δεν έχει την έκταση ενός βιβλίου. Στόχος της μελέτης αυτής είναι **η σημασία της αβεβαιότητας**. Τελικώς βρέθηκε ότι βασικός νόμος της Φύσης είναι: **«Δεν μπορεί να μειωθεί η συνολική αβεβαιότητα»**.

Ο Ηράκλειτος αντιμετώπισε την ύλη **σε λεπτομέρεια** (αντιστοιχεί στην αντιμετώπιση της **Στατιστικής Φυσικής**), σε αντίθεση με το Θαλή που την εξέτασε **μακροσκοπικά** (αντιστοιχεί στην αντιμετώπιση της **Θερμοδυναμικής**). Οι δύο αυτές αντιμετωπίσεις οδήγησαν σε μια διαμάχη που κράτησε αιώνες και ξεκίνησε με τις απόψεις των Θαλή και Ηράκλειτου. Η βάση της διαφοράς είναι ποιος πρέπει να είναι ο τρόπος περιγραφής της Φύσης. Οι δύο αυτοί τρόποι περιγραφής είναι διαφορετικοί και τα μαθηματικά που απαιτούνται είναι επίσης διαφορετικά. Η περιγραφή της Στατιστικής Φυσικής εδραιώθηκε τον 20ο αιώνα.

Σύμφωνα με τον Ηράκλειτο, **«Στο ίδιο ποτάμι δεν μπορούμε να μπούμε δύο φορές»**, διότι μεταβάλλεται και δεν είναι το ίδιο. Ο Ηράκλειτος ήταν μεταγενέστερος του Θαλή. Ο Θαλής ήταν αυτός που πρώτος εισήγαγε την άποψη ότι υπάρχει **Λογική στη Φύση**. Ο Θαλής παρατήρησε ότι τα μακροσκοπικά φαινόμενα της Φύσης δίνουν γενικά τα ίδια πάντα αποτελέσματα. Τα φαινόμενα αυτά τα αποκαλούμε **Προσδιοριστικά.** Τα τότε υπάρχοντα μαθηματικά ήταν συμβατά με αυτά τα φαινόμενα. Δηλαδή, τα μαθηματικά αυτά προσδιορίζουν μονοσήμαντα το αποτέλεσμα και είναι κατάλληλα για την περιγραφή Προσδιοριστικών φαινομένων. Ήδη υπήρχαν την εποχή του Θαλή παρότι όχι όλοι τους οι κλάδοι. Επικρατούσε δε η άποψη ότι είναι και τα μόνα που μπορούν να υπάρξουν. Ο Θαλής είχε μια καταπληκτική ικανότητα να συνδυάζει τη παρατήρηση με τη θεωρία και μελέτησε τη νέα ιδέα με τα τότε υπάρχοντα μαθηματικά. **Ο Θαλής μελέτησε το θέμα χρησιμοποιώντας Προσδιοριστικά μαθηματικά**. Έτσι η μακροσκοπική κατάσταση στο ποτάμι του παραδείγματος του Ηράκλειτου μένει η ίδια και μπορούμε να μπούμε σε αυτό δύο φορές. Όταν όμως εξετάσουμε το ποτάμι σε λεπτομέρεια, θα δούμε ότι αυτό συνεχώς αλλάζει, έτσι δεν μπορούμε να μπούμε στο ίδιο δύο φορές.

Ο Ηράκλειτος ήταν αυτός που πρώτος εισήγαγε την άποψη ότι **υπάρχει και η Στοχαστική συμπεριφορά της Φύσης**, που είναι και η βασική συμπεριφορά. Η περιγραφή που δίνει ο Ηράκλειτος για τη Φύση είναι μόνο φιλοσοφική. Τα μαθηματικά που υπήρχαν τότε ήταν Προσδιοριστικά και δεν ήταν κατάλληλα για τη Στοχαστική περιγραφή. Η περιγραφή του Ηράκλειτου είναι συμβατή με τις σύγχρονες μας απόψεις για την ύπαρξη του μικρόκοσμου και τη σκοπιά αυτή θα τη σχολιάσω. Θα σχολιάσω όμως το θέμα με τα σημερινά δεδομένα και όχι της εποχής της αρχαιότητας. Η μεγάλη συμβολή του Ηράκλειτου έγκειται στο ότι πρώτος πρόβαλε την άποψη ότι:

**Υπάρχουν φαινόμενα της Φύσης που το αποτέλεσμα τους μπορεί να μεταβάλλεται με την κάθε υλοποίηση τους.**

Τα φαινόμενα αυτά τα αποκαλούμε **Στοχαστικά**. Φαίνεται το παραπάνω αποτέλεσμα να είναι σε αντίθεση με την άποψη ότι υπάρχει Λογική στη Φύση, μια και μπορεί αυτό να μεταβάλλεται. Η άποψη της ύπαρξης Λογικής στη Φύση, με βάση τα Προσδιοριστικά μαθηματικά, συνδέθηκε με την απαίτηση το **αποτέλεσμα να είναι πάντα το ίδιο**. Αυτή είναι η τυπική μακροσκοπική συμπεριφορά. Ο Ηράκλειτος πίστευε στην ιδέα ότι υπάρχει Λογική στη Φύση, αντιμετώπισε όμως το σύστημα σε λεπτομέρεια. Η πρόταση του ισοδυναμεί με το ότι το αποτέλεσμα δεν παίρνει μια μόνο τιμή, αλλά έχει μια κατανομή από τιμές. Το αποτέλεσμα όμως δεν είναι πλήρως τυχαίο (θόρυβος), αλλά έχει μια καθορισμένη κατανομή πιθανότητας. Η καθορισμένη αυτή κατανομή πιθανότητας συνεπάγεται την ύπαρξη Λογικής στη Φύση. Η άποψη που ο Ηράκλειτος εισάγει είναι ότι: **Για να υπάρχει Λογική στη Φύση, τα αποτελέσματα δεν χρειάζεται να έχουν πάντα την ίδια τιμή**. Μπορεί να έχουν μια κατανομή από τιμές. Τυπικό παράδειγμα τέτοιας συμπεριφοράς έχουμε

με την εξέλιξη μιας ασθένειας (προκαλείται από μικρόβια που είναι μικροσκοπικά), που δεν είναι ακριβώς η ίδια σε όλους τους ασθενείς, αλλά είναι περίπου η ίδια και έχει μια καθορισμένη κατανομή. Στο χώρο της φυσικής, αναφέρεται ότι τα στοιχειώδη σωμάτια (που επίσης είναι μικροσκοπικά) προσδιορίζονται με μια αβεβαιότητα, που σημαίνει ότι το αποτέλεσμα μεταβάλλεται με τη κάθε μέτρηση. Γενικά οι πειραματικές επιστήμες αξιοποιούν τα Στοχαστικά μαθηματικά.

Για να γίνει η μαθηματική επεξεργασία της συμπεριφοράς αυτής, πρέπει πρώτα να βρεθούν τα μαθηματικά που να είναι συμβατά με τη περίπτωση αυτή. Τα κατάλληλα μαθηματικά, για το σκοπό αυτό, δεν υπήρχαν την εποχή του Ηράκλειτου και αναπτύχθηκαν πολύ μεταγενέστερα. Η πρόταση του Ηράκλειτου ξεχάστηκε για πολλούς αιώνες. Πήρε περίπου 2500 χρόνια για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά αυτή, η οποία αποτελεί βασική συμπεριφορά της σύγχρονης φυσικής και είναι η τυπική περίπτωση στην υποατομική κλίμακα. Παρότι στα προγράμματα σπουδών των διαφόρων κλάδων κυριαρχούν τα Προσδιοριστικά μαθηματικά, διότι ενδεχομένως στόχος τους είναι η μελέτη μακροσκοπικών φαινομένων, **η σύγχρονη άποψη είναι ότι η μαθηματική γλώσσα της Φύσης είναι τα Στοχαστικά μαθηματικά**. Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η ύπαρξη της Λογικής στη Φύση δεν συνεπάγεται και Προσδιοριστική περιγραφή. Η συμπεριφορά μπορεί να είναι είτε Προσδιοριστική, είτε Στοχαστική. Ένα δε από τα ουσιώδη χαρακτηριστικά της Φύσης είναι η **αβεβαιότητα** και θα γίνει η διαπραγμάτευση της στα πλαίσια των Θετικών Επιστημών.

**Η αβεβαιότητα προέρχεται από το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές επιλογές.**

Με βάση την αβεβαιότητα, μπορούμε να χωρίσουμε τη κάθε επιστήμη της Φύσης σε δύο περιοχές:

1. Την **Προσδιοριστική** (δεν υπάρχουν πολλές επιλογές), και
2. Τη **Στοχαστική** (υπάρχουν πολλές επιλογές και έτσι υπάρχει αβεβαιότητα).

Εφόσον τα μαθηματικά αποδίδουν τη Φύση, πρέπει και αυτά να χωρίζονται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή σε δύο κατηγορίες: **τα Προσδιοριστικά και τα Στοχαστικά**.

Στα μαθηματικά όμως της αρχαιότητας δεν υπήρχε η Στοχαστική κατηγορία και έπρεπε να βρεθεί. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι οι Προσδιοριστικοί κλάδοι των φυσικών επιστημών και τα αντίστοιχα μαθηματικά, αναπτυσσόταν μόνο στην αρχαιότητα. Και ο απειροστικός λογισμός, που άρχισε να αναπτύσσεται τον 17ο αιώνα, ανήκει στα Προσδιοριστικά μαθηματικά. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι Στοχαστικοί κλάδοι των φυσικών επιστημών, που έχουν τις ρίζες τους στον Ηράκλειτο. Τα αντίστοιχα μαθηματικά είναι μεταγενέστερα και άρχισαν να αναπτύσσονται τον 17ο αιώνα. Ο Στοχαστικός κλάδος διαπραγματεύεται την περίπτωση της ύπαρξης αβεβαιότητας και ενδεχομένως εμφάνισης διαφορετικού κάθε φορά αποτελέσματος. Το αποτέλεσμα τους ΔΕΝ είναι πάντα το ίδιο. Δηλαδή, στην περίπτωση αυτή υπάρχουν πολλά εναλλακτικά αποτελέσματα, τα οποία όμως δεν εμφανίζονται μαζί.

Το κλασικό Στοχαστικό φαινόμενο παράγεται από το μακροσκοπικό ζάρι γνωστό από την αρχαιότητα (γνωστό σε όλους). Όλοι ξέρουμε ότι το αποτέλεσμα του μπορεί να ποικίλλει, ανάλογα με την πλευρά που θα εμφανιστεί. Για την αντιμετώπιση της περίπτωσης αυτής χρειάζονται άλλα μαθηματικά και για τη περιγραφή αυτού του φαινομένου αναπτύχθηκαν οι **πιθανότητες**. Η εμφάνιση της κάθε μιας πλευράς συνδυάζεται με ένα αποτέλεσμα και αποδίδεται στα μαθηματικά με μια πιθανότητα. Επομένως, οι πιθανότητες είναι τα μαθηματικά που επεξεργάζονται τα πολλά πιθανά αποτελέσματα.

Σε κάθε εποχή μπορεί να διερευνηθεί ένα θέμα με τις υπάρχουσες τεχνολογικές δυνατότητες. Όταν βελτιώνονται οι δυνατότητες αυτές, η διερεύνηση του θέματος γίνεται περισσότερο ενδελεχής, κάτι που δεν μπορούσε πρωτύτερα να γίνει. Στο παρόν άρθρο εξετάζεται το θέμα της αβεβαιότητας. Θα ξεκινήσουμε τη διερεύνηση του θέματος από την εποχή της αρχαιότητας, θα δούμε όμως και μερικές σύγχρονες εξελίξεις των γνώσεων μας σχετικά με το θέμα αυτό. Σκοπός του άρθρου είναι επίσης να σχολιάσει την αβεβαιότητα, με τα σημερινά όμως δεδομένα. Πρέπει δε να ξεκινήσουμε από τους αρχαίους Έλληνες στοχαστές. Ένα τόσο σημαντικό θέμα, όπως η αβεβαιότητα, θα το έχουν οπωσδήποτε μελετήσει. Η φράση «**Τα πάντα ρει**» αποτελεί καίρια θέση, και γενεσιουργό αιτία της αβεβαιότητας και στο παρόν άρθρο θα τη σχολιάσω. Επίσης, θα ασχοληθώ με το στοχαστή στον οποίο αποδίδεται η φράση αυτή, δηλαδή με τον Ηράκλειτο. Το παραπάνω γνωμικό δηλώνει αέναη μεταβολή. Για το σαφή προσδιορισμό του είδους της μεταβολής, μπορούμε να αξιοποιήσουμε το γνωμικό του: «**Ο χρόνος είναι παιδί που παίζει πεσσούς**». Η σημασία του γνωμικού αυτού είναι ότι η μεταβολή γίνεται με αβεβαιότητα, όπως και στους πεσσούς. Συνδυάζοντας τα δύο του αυτά γνωμικά, μπορεί να λεχθεί ότι: «**Τα πάντα μεταβάλλονται με αβέβαιο τρόπο**».

Η διαπίστωση αυτή αποτελεί βασικό στοιχείο τόσο της διαβί-

ωσης μας, όσο και της σύγχρονης επιστήμης. Με βάση τη παρατήρηση αυτή, η αβεβαιότητα είναι αναπόσπαστο στοιχείο της συμπεριφοράς της Φύσης. Σύμφωνα με τις σύγχρονες απόψεις της Φυσικής, το σύστημα που μελετάμε μπορεί να αναφέρεται στο:

**1.Μακρόκοσμο, οπότε η κατάσταση του αναφέρεται ως μακροκατάσταση,** ή στο

**2. Μικρόκοσμο, οπότε η κατάσταση του αναφέρεται ως μικροκατάσταση.**

Οι περιπτώσεις αυτές είναι συμβατές με τη σημερινή μας εμπειρία. Την εποχή όμως του Ηράκλειτου, ο μικρόκοσμος ήταν άγνωστος, οπότε η τότε περιγραφή αφορούσε μόνο το μακρόκοσμο που πολλές φορές εμφανίζεται σταθερός. **Η αβεβαιότητα πηγάζει από το γεγονός ότι μια μακροκατάσταση είναι συμβατή με πολλές μικροκαταστάσεις.** Έτσι υπάρχει αβεβαιότητα ως προς το ποια μικροκατάσταση εμφανίζεται. Αυτή είναι μια γενική ιδιότητα, που η εφαρμογή της γίνεται εμφανής όταν ο μικρόκοσμος είναι προσιτός. Η συμπεριφορά του μικρόκοσμου δίνει την «αρχή της αβεβαιότητας», που προτάθηκε στη σύγχρονη φυσική περίπου 2500 χρόνια μετά τον Ηράκλειτο. Το πρώτο φαινόμενο που έδειξε ότι στο μικρόκοσμο υπάρχει αβεβαιότητα είναι το **φαινόμενο Brown**, που παρατηρήθηκε το 1827. Όμως θα μπορούσε να υποστηριχθεί, ότι η αδυναμία μας να εξηγήσουμε το φαινόμενο αυτό με προσδιοριστικές μεθόδους, οφείλεται στο γεγονός ότι δεν γνωρίζουμε την ακριβή κατάσταση εκάστου μορίου του νερού που συγκρούεται με το κόκκο σκόνης και προκαλεί το φαινόμενο και εξ ανάγκης περιγράφουμε την κατάσταση του συστήματος στατιστικά. Μεταγενέστερα όμως βρέθηκε ότι στο υποατομικό επίπεδο η κατάσταση πρέπει υποχρεωτικά να περιγραφεί με τον κβαντικό τρόπο, που συνεπάγεται στοχαστική αντιμετώπιση. Η συμπεριφορά αυτή δεν μπορούσε να βρεθεί με τα μέσα που υπήρχαν την αρχαιότητα. Η «**αρχή της αβεβαιότητας**» αναφέρεται στο επίπεδο αυτό και είναι μια βασική αρχή της σύγχρονης φυσικής. Επίσης πρέπει να λεχθεί ότι ο Ηράκλειτος αντιμετώπιζε τους συμπολίτες του με υπεροπτικό τρόπο, και εάν δεν τον κατανοούσαν τους αποκαλούσε «κοιμισμένους». Έτσι αποκόπηκε από τον λαό και δεν αναγνωρίστηκε στην αρχαιότητα ως ένας από τους κορυφαίους στοχαστές. Η συμπεριφορά του αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για να γίνει κατανοητή η κατάσταση που έτσι δημιουργήθηκε.

Από τα αποτελέσματα που είναι προσιτά στο σύστημα, μερικά είναι για τον άνθρωπο πιο ευνοϊκά από τα άλλα και εκφράζουν την **τύχη**. Όπως όμως λέει ο Ηράκλειτος, «**για το θεό όλα είναι το ίδιο**». Σε κοινωνικό επίπεδο, αβεβαιότητα είναι εκείνο που αισθανόμαστε προτού κατορθώσουμε να εκτιμήσουμε την κατάσταση και να κάνουμε την επιλογή μας. Η αβεβαιότητα και ο φόβος που αυτή προκαλεί, αποτελεί σημαντικό στοιχείο που καθορίζει τη συμπεριφορά του ανθρώπου. Σύμφωνα με τη λαϊκή έκφραση, «ο καθένας με τη τύχη του», που δηλώνει και τη σημασία που δίνεται στη τύχη. Το διαφορετικό αποτέλεσμα προέρχεται από τις διαφορετικές επιλογές που θα γίνουν. Μια συνέπεια του ενδιαφέροντος του ανθρώπου για να μάθει για το μέλλον, ήταν και η δημιουργία των μαντείων στην αρχαιότητα. Μπορούν να αναφερθούν πολλά παραδείγματα που να προβάλουν τη σημασία που έδιναν την αρχαιότητα στην τύχη (που προέρχεται από την αβεβαιότητα). Στην αρχαιότητα μελέτησαν με πολλούς τρόπους τα της τύχης και ασχολήθηκαν επισταμένως με το θέμα, δεν είχαν όμως αναπτύξει τα κατάλληλα μαθηματικά, δηλαδή τις **Πιθανότητες**. Όπως λέει και το όνομά τους, διαπραγματεύονται τα πιθανά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τις σημερινές μας γνώσεις στη φυσική, ένα μακροσκοπικό σύστημα καθορίζεται από τις μακροσκοπικές μεταβλητές του συστήματος. Η μακροσκοπική όμως περιγραφή δεν καθορίζει την κατάσταση του κάθε ατόμου. **Σε μια καθορισμένη μακροκατάσταση, υπάρχουν πολλές επιτρεπτές μικροκαταστάσεις.** Η πολλαπλότητα αυτή εισάγει αβεβαιότητα στο σύστημα. Η κάθε μικροκατάσταση καθορίζει επίσης και ένα αποτέλεσμα του συστήματος. Η μέση τιμή στα αποτελέσματα αυτά, καθορίζει τη μακροσκοπική τιμή του συστήματος. Επομένως, για την εύρεση της μακροσκοπικής τιμής ενός συστήματος, χρειάζεται να υπολογιστεί η μέση τιμή που προέρχεται από τις πολλές μικροκαταστάσεις. Τις μέσες τιμές τις επεξεργάζεται η **Στατιστική**. Άρα ο κλάδος των Πιθανοτήτων πρέπει να συνδυαστεί με αυτόν της Στατιστικής. Δεν συνεπάγεται όμως ότι η μέση τιμή εμφανίζεται στο σύστημα. Ένα απλό παράδειγμα μπορούμε να το πάρουμε από ένα κέρμα που τη μια του επιφάνεια την ονομάζουμε μηδέν και την άλλη ένα. Η μέση τιμή των εμφανίσεων είναι 0.5, το οποίο ουδέποτε εμφανίζεται στη ρίψη του κέρματος αυτού, που κάνει τη μέση τιμή «περίεργη» ποσότητα. Έτσι οι μέσες τιμές της Στατιστικής μπορεί ουδέποτε να εμφανίζονται. Η **Στατιστική Φυσική** αντιμετωπίζει προβλήματα στατιστικής που αναφέρονται στη φυσική. Η **Θερμοδυναμική** περιέχει μόνο τα αποτελέσματα της μέσης τιμής και άρα είναι υποσύνολο της Στατιστικής Φυσικής και στοχεύει να βρει σχέσεις που ικα-

νοποιούν οι μέσες αυτές τιμές.

Μια βασική συνεισφορά του Ηράκλειτου έχει να κάνει με την πρόταση του ότι: **Ο θεμελιώδης νόμος της Φύσης είναι η Λογική.** Αυτή προσδιορίζει την εξέλιξη του κόσμου. Η πρόταση του αυτή πρωτίστως συνεπάγεται ότι υπάρχει Λογική στη Φύση και έτσι προβάλλεται η Λογική εξήγηση του κόσμου. Όμως ο στοχαστής που πρώτος εισήγαγε αυτή τη θέση ήταν ο Θαλής, που ήταν προγενέστερος του. Η άποψη του Θαλή στηριζόταν στη παρατήρηση (μακροσκοπική) ότι το αποτέλεσμα ήταν πάντα το ίδιο και η άποψη αυτή ήταν κατανοητή από τους συμπολίτες του, κάτι που δεν ίσχυε με την άποψη του Ηράκλειτου. Ο Ηράκλειτος υποστήριζε ότι το αποτέλεσμα μπορεί να μην είναι το ίδιο και όμως να υπάρχει Λογική στη Φύση, που για την εποχή εκείνη ήταν δύσκολα κατανοητό. Οι συμπολίτες του Ηράκλειτου δεν κατανοούσαν αυτή του την άποψη, που στην ουσία στηριζόταν στη ύπαρξη του μικρόκοσμου και δεν υπήρχαν τα αντίστοιχα μαθηματικά για τη περιγραφή του και τους αποκαλούσε για τούτο «κοιμισμένους», όπως λαϊκά λέγεται, «κοιμούνται όρθιοι». Αυτοί όμως τον έλεγαν «Σκοτεινό», κατά τη λαϊκή έκφραση «έχει σκοτεινιάσει το μυαλό του». Τελικά το ματς έληξε ισόπαλο και ο καθένας έβαλε στον άλλο και από ένα κοσμητικό επίθετο! Ο Ηράκλειτος είχε την ικανότητα να βλέπει τα πράγματα σε βάθος, όμως οι συμπολίτες του δεν μπορούσαν να τον παρακολουθήσουν. Δεν ελάμβανε επίσης μέριμνα για να μεταδώσει τις ιδέες του. Η προσέγγιση αυτή του δημιούργησε προβλήματα, ώστε να αποκοπεί από τον λαό. Ωστόσο, η απομόνωση του αυτή άρχισε να αλλάζει τα τελευταία χρόνια και να καταλαμβάνει τη θέση που του αρμόζει ως κορυφαίου στοχαστή.

Μια τακτική που επίσης χρησιμοποίησε ο Ηράκλειτος ήταν να γράφει τις ρήσεις του σε πλάκες χρυσού και να τις τοποθετεί στο θησαυροφυλάκιο του ναού. Το σκεπτικό του ήταν ότι κάποτε θα ανακαλύψουν τα λεγόμενα του οι μεταγενέστεροι, μια και δεν τον καταλάβαιναν οι συμπολίτες του (και έτσι τα ανακαλύψαμε εμείς!). Ας αφήσουμε όμως τα κοσμητικά επίθετα περί τον Ηράκλειτο, που έμειναν μέχρι την εποχή μας, και ας μελετήσουμε το θέμα της αβεβαιότητας. Θα δούμε τόσο τη συνεισφορά του Ηράκλειτου, όσο και της σύγχρονης επιστήμης.

Τα δύο θεμελιώδη χαρακτηριστικά της Φύσης, όπως τα ξέρουμε σήμερα, είναι ότι:

**Υπάρχει Λογική στη Φύση, όμως ταυτόχρονα αυτή είναι και αβέβαιη.**

Την εποχή της αρχαιότητας όμως δεν υπήρχε η μαθηματική επεξεργασία της αβεβαιότητας, δηλαδή δεν είχαν αναπτυχθεί οι πιθανότητες. Επομένως, οι δύο αυτές συμπεριφορές της Φύσης φαινόταν αντιφατικές. Όμως, σύμφωνα με την προσέγγιση του Γαλιλαίου, **σωστό είναι αυτό που δίνει η Φύση** και ΟΧΙ τα υπάρχοντα μαθηματικά. Έπρεπε επομένως να αναπτυχθούν τα κατάλληλα μαθηματικά που να μπορούν να περιγράψουν την αβεβαιότητα. Αυτό επιτεύχθηκε με τα μαθηματικά της τύχης, δηλαδή τις πιθανότητες. Τα μαθηματικά αυτά έκαναν δυνατό το συνδυασμό της Λογικής της Φύσης με την αβεβαιότητα. Μπορεί η Φύση σε μακροσκοπικό επίπεδο γενικά να εμφανίζεται για ένα διάστημα στατική, όμως η συμπεριφορά αυτή δεν εκφράζει τη μικροσκοπική εικόνα που ξέρουμε σήμερα. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, **η μεταβολή και η αβεβαιότητα είναι ουσιώδη χαρακτηριστικά της**. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, όχι μόνο υπάρχει αέναη κίνηση, αλλά η κίνηση αυτή έχει και αβεβαιότητα.

Η προσέγγιση της κλασικής φυσικής είναι η Προσδιοριστική και της κβαντομηχανικής η Στοχαστική. Θέλουμε όμως να συνδυάσουμε την κλασική φυσική με τη συμπεριφορά της Φύσης. Ο συνδυασμός αυτός επιτυγχάνεται με το να δεχτούμε ότι η αρχική κατάσταση μπορεί να βρίσκεται σε μια από πολλές περιπτώσεις και την αρχική κατάσταση να την περιγράψουμε με μεθόδους της στατιστικής. Σύμφωνα δε με την κλασική φυσική, με την εξέλιξη του συστήματος η αβεβαιότητα παραμένει η ίδια. Δεν απαντά έτσι στο πιο είναι το βαθύτερο αίτιο της δημιουργίας της αβεβαιότητας. Το συμπέρασμα της σύγχρονης φυσικής, που πηγάζει από την πειραματική μελέτη, είναι ότι η βαθύτερη αιτία είναι η **κβαντική συμπεριφορά της ύλης**. Το συμπέρασμα αυτό συνεπάγεται ότι η Φύση πρέπει να περιγραφεί σε μικροσκοπικό επίπεδο με στοχαστικό τρόπο. Έτσι, τα δύο θεμελιώδη θέματα είναι: (1) να βρεθεί ότι υπάρχει Λογική στη Φύση και (2) να βρεθεί το πώς πρέπει να γίνει η περιγραφή της Φύσης.

Τα δύο αυτά θέματα είναι ουσιώδη στην ανάπτυξη των Θετικών Επιστημών. Σε προηγούμενα μου άρθρα διαπραγματεύτηκα το πρώτο θέμα, ενώ στο παρόν άρθρο το δεύτερο. Το πρώτο ερώτημα στοχεύει στο να διερευνήσει εάν υπάρχει Λογική στη Φύση και σε καταφατική απάντηση, το επόμενο ερώτημα αποβλέπει στο να βρεθεί τι είδους περιγραφή πρέπει να γίνει για τη **συμπεριφορά της Φύσης, Προσδιοριστική ή Στοχαστική**. Όταν υπάρχει Λογική στη Φύση, χρησιμοποιείται η Λογική (για την ακρίβεια η Μαθηματική Λογική που είναι η Θεμελιώδης Επιστήμη) για να βρεθούν οι συνέπειες των αξιωμάτων που θέτει η Φύση. Σε περίπτωση που η περιγραφή για

τη μικροσκοπική κατάσταση είναι Στοχαστική, θα δούμε ότι η συμπεριφορά της κατανομής πιθανότητάς της, δίνει συμπεράσματα για τη συμπεριφορά της μακροκατάστασης.

Η πρώτη συμβολή στο θέμα έγινε από τον Ηράκλειτο. Χρειάστηκαν όμως περίπου 2500 χρόνια για να διευκρινιστεί το θέμα. Δηλαδή, ότι υπάρχει πάντα αβεβαιότητα στη Φύση και οι νόμοι της Φύσης πρέπει να αποδίδουν την αβεβαιότητα αυτή. Τελικά, η θεωρία που έδωσε την οριστική απάντηση στο θέμα είναι αυτή της κβαντομηχανικής, που έκανε σαφές ότι η μαθηματική γλώσσα της Φύσης είναι τα Στοχαστικά μαθηματικά. Από τη θεωρία αυτή συνεπάγεται **ότι αβεβαιότητα σε μικροσκοπικό επίπεδο υπάρχει πάντα** και η περιγραφή του συστήματος στο επίπεδο αυτό πρέπει να γίνει με το Στοχαστικό τρόπο, ώστε να την αποδίδει. Το **χάος** που προκύπτει θα μπορούσαμε να το χωρίσουμε σε δύο περιοχές, δηλαδή

1) το **Μικροσκοπικό χάος** και
2) το **Μακροσκοπικό χάος.**

## ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Θα εξετάσουμε τη μικροσκοπική περιγραφή τόσο στα πλαίσια της κλασικής φυσικής, όσο και της κβαντομηχανικής.

### Κλασική Περιγραφή

Σύμφωνα με την κλασική φυσική, η τελική κατάσταση ενός συστήματος είναι μονοσήμαντα ορισμένη από τις αρχικές συνθήκες.[1] Έτσι **η κλασική φυσική δεν δημιουργεί αβεβαιότητα** (επιβεβαίωση του γεγονότος αυτού είναι η ύπαρξη των τροχιών). Αυτή δημιουργείται από άλλα αίτια. Πρέπει όμως να βρεθεί ένας τρόπος ώστε η περιγραφή της κλασικής φυσικής να γίνει συμβατή με την εικόνα που υπάρχει στη Φύση. Αυτό επιτυγχάνεται με το να ορίσουμε ότι η αρχική κατάσταση μπορεί να πάρει, με τυχαίο τρόπο, μια από πολλές καταστάσεις. Θα μπορούσε έτσι να ισχυρισθεί κανείς ότι, στην περίπτωση των ζαριών έχουμε πολλά δυνατά αποτελέσματα διότι αδυνατούμε να γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της αρχικής κατάστασης και τις λεπτομέρειες της διαδρομής. Έτσι οι πολλές επιλογές της τελικής κατάστασης μπορούν να προκύψουν από την αδυναμία μας να γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της αρχικής κατάστασης και της διαδρομής. Το τελικό συμπέρασμα της κλασικής φυσικής είναι ότι την αρχική κατάσταση την περιγράφουμε με τη χρήση της στατιστικής, όπως π.χ. συμβαίνει στην περίπτωση του κλασικού αερίου.

### Κβαντική Περιγραφή

Μια άλλη δυνατότητα που υπάρχει είναι: **και όταν ακόμη η αρχική κατάσταση είναι μία, οι τελικές καταστάσεις να είναι πολλές και καθεμιά μπορεί να εμφανιστεί με μια πιθανότητα.** Την περίπτωση αυτή την διαπραγματεύεται η κβαντομηχανική (δεν υπάρχουν τότε οι τροχιές), δηλαδή η κβαντομηχανική μπορεί να εξηγήσει την προέλευση της αβεβαιότητας. Η τελική κατάσταση στην κβαντομηχανική περιγράφεται από την **κυματοσυνάρτηση**, που δίνει την πιθανότητα να βρεθεί το σύστημα σε καθεμιά από τις τελικές καταστάσεις, όπως π.χ. συμβαίνει στο κβαντικό αέριο. Τα Στοχαστικά μαθηματικά είναι συμβατά με τη φιλοσοφία της κβαντικής φυσικής. Όταν η δημιουργούμενη από τη κβαντομηχανική αβεβαιότητα είναι αμελητέα, τότε αυτή ανάγεται στη κλασική περιγραφή. Στη περίπτωση όμως που η τελική κατάσταση περιγράφεται από μια κατανομή πιθανότητας, αναφερόμαστε στο **Στοχαστικό χάος.** Στη μεν κλασική αντιμετώπιση το χάος είναι εισαγόμενο, ενώ στη κβαντική περίπτωση παράγεται από τη κβαντική θεωρία. Η εξέλιξη της φυσικής επίσης, άλλοτε είναι βραδύτερη και άλλοτε γίνεται με άλματα. Μέχρι της αρχές του 20ου αιώνα, η αβεβαιότητα συνδεόταν με την αδυναμία μας να καθορίσουμε τις λεπτομέρειες της αρχικής κατάστασης του κάθε σωματίου και καταφεύγαμε στη Στατιστική περιγραφή της. Όμως από τις αρχές του 20ου αιώνα προστέθηκε και η περίπτωση της αβεβαιότητας που προέρχεται από τους κβαντικούς βαθμούς ελευθερίας. Η κβαντική περίπτωση βρέθηκε μελετώντας υποατομικά σωμάτια. Τη σημασία της κβαντικής περίπτωσης την κάνει εμφανή το παράδοξο Gibbs στη Στατιστική Φυσική.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένα βασικό στοιχείο στην κβαντική θεωρία είναι η αβεβαιότητα και πρέπει να μελετηθεί τι συνεπάγεται η ύπαρξη της. Η μελέτη αυτή μπορεί να ξεκινήσει από τις προβλέψεις της θεωρίας και μετά να δούμε εάν οι προβλέψεις αυτές είναι συμβατές με το πείραμα. Το δεδομένο που χρησιμοποιείται στη θεωρία είναι ότι η κατάσταση στο μικρόκοσμο περιγράφεται με στοχαστικό τρόπο και οι στοχαστικές ποσότητες έχουν κατανομή με «ροπές». Δηλαδή, για συνεχείς μεταβλητές, δεχόμαστε ότι υπάρχουν οι ποσότητες:

$$\int x^{\nu} P(x)\,dx$$

για κάθε ακέραια τιμή του ν και είναι πεπερασμένες. Έτσι, υπάρχουν τα ολοκληρώματα που τις προσδιορίζουν. Πέρα όμως από την αβεβαιότητα σε μια μεταβλητή, μας ενδιαφέρει να με-

[1] *Η εξάρτηση της λύσης από τις αρχικές συνθήκες μπορεί να είναι έντονη, όμως δεν δημιουργεί αβεβαιότητα. Μπορεί δε η έντονη εξάρτηση να δώσει μερικά στοιχεία της χαοτικής συμπεριφοράς.*

λετήσουμε την αβεβαιότητα σε συζυγείς μεταβλητές. Για σωμάτια με **σταθερή μάζα**, η ποσότητα που μας ενδιαφέρει είναι η:

$$(\Delta x)(\Delta v) = \sqrt{<(x-<x>)^2><(v-<v>)^2>}$$

Η ποσότητα αυτή εκφράζει το γινόμενο της αβεβαιότητας ως προς τη θέση, με αυτό της αβεβαιότητας ως προς την ταχύτητα. Για σωμάτια μεταβλητής μάζας, η παραπάνω σχέση πρέπει να γενικευτεί και η αβεβαιότητα στην ταχύτητα θα πρέπει να αντικατασταθεί με την αβεβαιότητα στην ορμή. Η «αρχή της αβεβαιότητας» συνδέει τις αβεβαιότητες για συζυγείς μεταβλητές **το γινόμενο των αβεβαιοτήτων των οποίων δεν μπορεί να είναι μικρότερο από μια τιμή**. Η αρχή αυτή επιβεβαιώθηκε πειραματικά και περιγράφει τη συμπεριφορά της φύσης. Η ύπαρξη της σχέσης αυτής συνεπάγεται ότι οι αντίστοιχες ποσότητες περιγράφονται με τελεστές που **δεν αντιμετατίθενται**. Τέτοιοι τελεστές είναι οι πίνακες, έτσι έχουμε την αναπαράσταση της κβαντομηχανικής με πίνακες. Μετά βρέθηκε ότι:

$$[x,\frac{d}{dx}]\neq 0$$

και έτσι έχουμε την αναπαράσταση Schrödinger χωρίς να χρειάζεται να καταφύγουμε σε πίνακες.

Τελικά, η Φύση έχει ελάχιστη τιμή για το **γινόμενο** των αβεβαιοτήτων των συζυγών ποσοτήτων. **Η τιμή όμως αυτή είναι μικρή και για μακροσκοπικά μεγέθη μπορεί να θεωρηθεί μηδενική.** Οπότε, στη μακροσκοπική περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει ελάχιστη τιμή για το γινόμενο των αβεβαιοτήτων.

### Περί πεσσών

Σύμφωνα με τον Ηράκλειτο, «**ο χρόνος είναι παιδί που παίζει πεσσούς**». Οι πεσσοί (τα ζάρια) εκφράζουν αβεβαιότητα. Δηλαδή, η εξέλιξη δεν είναι μονοσήμαντη. Πρέπει δε να τονιστεί ότι με αυτόν τον τρόπο, δεν προβάλλεται ότι μια κατάσταση μπορεί ταυτόχρονα να είναι π.χ. και Α και Β. Κάτι τέτοιο δεν είναι αποδεκτό. Αυτό όμως που προβάλλεται είναι ότι υπάρχει μια πιθανότητα να έχουμε την κατάσταση Α και μια πιθανότητα να έχουμε την κατάσταση Β. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας συμπεριφοράς είναι οι πεσσοί, ένα παιχνίδι που ήταν γνωστό από την αρχαιότητα. Στους πεσσούς, **η εμφάνιση της μιας όψης αποκλείει τις άλλες**. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να εξεταστεί είναι η ύπαρξη στην αρχαιότητα της μαθηματικής περιγραφής της συμπεριφοράς αυτής. Τα μαθηματικά που είχαν αναπτυχθεί στην αρχαιότητα δεν αφορούσαν τις πιθανότητες, ήταν αυτό που αποκαλούμε σήμερα Προσδιοριστικά. Το πρώτο βιβλίο στο οποίο γινόταν η πρώτη επιστημονική εισαγωγή που αφορούσε τις πιθανότητες, γράφτηκε από τον Christian Huygens το 1657. Επισημαίνεται ότι η ανάπτυξη των πιθανοτήτων στηρίχτηκε στα τυχερά παιχνίδια, π.χ. στους πεσσούς. Επίσης, οι στοχαστικές διαδικασίες αναπτύχθηκαν τον 20ο αιώνα.

## ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Παραπάνω είδαμε τη μικροσκοπική περιγραφή της ύλης. Η συμπεριφορά της μικροσκοπικής κατάστασης όμως καθορίζει και τη μακροσκοπική συμπεριφορά ενός συστήματος. Για να βρούμε δε τη μακροσκοπική συμπεριφορά πρέπει να υπολογίσουμε τη μέση τιμή (ή το άθροισμα) των τιμών των μικροκαταστάσεων. Οπωσδήποτε το είδος της κατανομής στις τιμές της μικροκατάστασης θα επιδράσει στη συμπεριφορά της μακροκατάστασης. Η μακροσκοπική μελέτη δεν αποβλέπει να εξηγήσει τη δημιουργία του χάους στη μικροκατάσταση, αλλά αποβλέπει στο να εξηγήσει το χάος της μακροκατάστασης με βάση το χάος στη μικροκατάσταση. Με τη διαδικασία αυτή αποβλέπουμε στο να κάνουμε την κατάταξη του μακροσκοπικού χάους με βάση την κατανομή πιθανότητας στις τιμές των μικροκαταστάσεων.

**Η συμπεριφορά της μικροκατάστασης καθορίζει τη συμπεριφορά της μακροκατάστασης.**

Η συμπεριφορά αυτή δίνει παρόμοιο αποτέλεσμα με αυτό για το είδος της Γεωμετρίας. Το είδος αυτό ξεκίνησε με βάση την Ευκλείδεια Γεωμετρία (~300 π.Χ.) και μπορεί να διαπραγματευτεί με τη χρήση του Πυθαγόρειου θεωρήματος. Ξέρουμε ότι ο χώρος των θεωριών της φυσικής, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι Ευκλείδειος, που είναι και η συνηθισμένη περίπτωση. Μπορεί όμως και να μην είναι. Παρόμοια περίπτωση ισχύει και με την αβεβαιότητα και έχει να κάνει με το εάν η κατανομή πιθανότητας έχει «ροπές» (βλ. παρακάτω) ή όχι. Η συνηθισμένη περίπτωση είναι να υπάρχουν οι «ροπές» της κατανομής και η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στην **Ευκλείδεια Γεωμετρία**. Στην περίπτωση αυτή έχουμε την περιοχή του **κλασικού χάους**. Μπορεί όμως οι «ροπές» της κατανομής να μην υπάρχουν. Τότε έχουμε το **μορφοκλασματικό χάος**. Τις περιπτώσεις αυτές θα τις συζητήσω παρακάτω επισταμένα. Επίσης θα συνάγουμε το συμπέρασμα ότι, η αβεβαιότητα μας δίνει έναν τρόπο για να βρούμε ότι: **Ο Ευκλείδειος χώρος δεν είναι ο μοναδικός.**

Θα μπορούσε κανείς να προβάλει την άποψη, ότι στα μαθηματικά μπορούν να βρεθούν κατανομές που δεν έχουν «ροπές», που ήδη τις είχαν βρει

οι Μαθηματικοί και ήταν γνωστές. Το ερώτημα όμως που ετίθετο είναι εάν τέτοιες κατανομές εμφανίζονται σε φυσικά συστήματα. Μέχρι το 1963 πιστεύαμε ότι δεν εμφανίζονται. Πιστεύαμε ότι οι μόνες που εμφανίζονται σε φυσικά συστήματα είναι οι κατανομές που έχουν πεπερασμένες «ροπές». Ήταν ο Mandelbrot (1924-2010) που πρώτος βρήκε ότι η άποψη αυτή δεν ισχύει πάντα. Οι εξαιρέσεις αρχικά βρέθηκαν στα χρηματο-οικονομικά, όμως ο ίδιος μας λέει ότι «**Η όψη της Φύσης είναι μορφοκλασματική**», δηλαδή οι κατανομές που περιγράφουν φυσικά συστήματα γενικά δεν έχουν πεπερασμένες «ροπές». Θα δούμε πρώτα την παλιά άποψη, δηλαδή κατανομές που έχουν πεπερασμένες «ροπές». Θα εξετάσουμε την περίπτωση αυτή και θα βρούμε μερικές ιδιότητες που η ύπαρξη των «ροπών» προβλέπει για τις κατανομές αυτές. Μετά θα εξετάσουμε τη γενική περίπτωση και θα διερευνήσουμε πως θα περιγράψουμε τη κατάσταση όταν δεν απαιτείται να υπάρχουν «ροπές».

## Περιγραφή Στοχαστικών Ποσοτήτων

Το πρόβλημα που ανακύπτει είναι πως περιγράφουμε φυσικές ποσότητες όταν υπάρχει αβεβαιότητα. Με τις προσδιοριστικές ποσότητες, δηλαδή με αυτές που δεν έχουν αβεβαιότητα, αρκεί να τις μετρήσουμε μία μόνο φορά. Στην επανάληψη της μέτρησης θα πάρουμε την ίδια τιμή. Όταν όμως υπάρχει αβεβαιότητα, κάθε μέτρηση δίνει και διαφορετικό αποτέλεσμα. Η πλήρης περιγραφή ισοδυναμεί με το να δώσουμε την πιθανότητα για την εμφάνιση του κάθε αποτελέσματος, δηλαδή να προσδιορίσουμε αυτό που στις πιθανότητες λέγεται **κατανομή πιθανότητας**. Η περιγραφή όμως αυτή είναι εκτεταμένη και στόχος μας είναι να κάνουμε τη γενική περιγραφή με λίγες ποσότητες. Στο πνεύμα αυτής της προσέγγισης μελετάται και η ποσότητα:

$$\frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}$$

Υποθέτουμε ότι αυτή υπάρχει στο όριο για πολλές στοχαστικές ποσότητες (π.χ. για πολλές μετρήσεις), ότι αυτό είναι πεπερασμένο για $n \to \infty$ και το ονομάζουμε $\mu$. Το όριο αυτό στις πιθανότητες λέγεται «νόμος των μεγάλων αριθμών». Με τον τρόπο αυτό μετατρέπουμε μια στοχαστική ποσότητα σε προσδιοριστική. Θα πρέπει επίσης να έχουμε μια ποσότητα που να ξεχωρίζει τις Προσδιοριστικές από τις Στοχαστικές ποσότητες και να αποτελεί επίσης ένα μέτρο της αβεβαιότητας. Μια κατάλληλη ποσότητα για το σκοπό αυτό είναι η διακύμανση περί τη μέση τιμή. Η ποσότητα αυτή ορίζεται από τη σχέση:

$$\sigma^2 \equiv \left\langle (x - \langle x \rangle)^2 \right\rangle = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2$$

**Η διακύμανση δεν εξαρτάται από την αρχή**. Στη γενικότερη περίπτωση έχουμε το μετασχηματισμό Fourier της κατανομής πιθανότητας, ο οποίος για συνεχή κατανομή δίνεται από τη σχέση:

$$\tilde{P}(k) \equiv \int e^{ikx} P(x) dx = \sum_n \frac{(ik)^n}{n!} \langle x^n \rangle$$

Οπότε η ύπαρξη των «ροπών» της κατανομής, εξασφαλίζει την παραπάνω σχέση. Δηλαδή, με την παραπάνω σχέση προσπαθούμε να υπολογίσουμε το μετασχηματισμό Fourier της κατανομής πιθανότητας μιας στοχαστικής ποσότητας, από τη μέση τιμή των δυνάμεων της στοχαστικής αυτής μεταβλητής, δηλαδή με Προσδιοριστικές ποσότητες. Οι ποσότητες αυτές καλούνται «ροπές» της κατανομής. Οι ποσότητες αυτές ορίζονται από τη σχέση και για διακριτές στοχαστικές μεταβλητές δίνονται από την:

$$\sum_i x_i^\nu P(x_i)$$

για κάθε ακέραιη τιμή του ν και υποθέτουμε ότι υπάρχουν και είναι πεπερασμένες. Όταν δεν υπάρχουν οι «ροπές», ο μετασχηματισμός Fourier δεν μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση αυτή. Η ύπαρξη πεπερασμένων «ροπών» συνεπάγεται την ύπαρξη ορισμένων ιδιοτήτων των κατανομών, που αυτές προβλέπουν. Όταν οι «ροπές» δεν υπάρχουν, η περιγραφή πρέπει να γίνει με άλλο τρόπο.

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ με «ΡΟΠΕΣ»

Δεν αποβλέπουμε στο να βρούμε τη κατανομή της κάθε μιας στοχαστικής ποσότητας, που αντιστοιχεί σε μικροσκοπική περιγραφή, αλλά να δούμε τις συνέπειες της στη μακροσκοπική κατάσταση. Ένα άθροισμα ατομικών στοχαστικών ποσοτήτων, όπου το πλήθος των επιμέρους ποσοτήτων είναι της τάξης του αριθμού Avogadro, αποδίδει ένα μακροσκοπικό σύστημα. Από την ύπαρξη πεπερασμένων ροπών για τις κατανομές των επιμέρους ποσοτήτων, συνεπάγονται ορισμένες ιδιότητες για το άθροισμα των ανεξάρτητων ποσοτήτων. Για ατομικές ποσότητες έχουμε το άθροισμα:

$$z_n = x_1 + x_2 + \ldots + x_n$$

Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής πρέπει να διαιρέσουμε με το n. Όμως ο πολλαπλασιαστικός όρος 1/n εύκολα εισάγεται. Για τις ανεξάρτητες αυτές στοχαστικές ποσότητες, που επίσης έχουν την ίδια κατανομή, παίρνουμε:

$$\langle z_n \rangle = \langle x_1 \rangle + \langle x_2 \rangle + \ldots + \langle x_n \rangle = \mu_1 + \mu_2 + \ldots + \mu_n = n\mu_1$$

Η ιδιότητα αυτή μας είναι οικεία από την αριθμητική, ότι δηλαδή αθροίζονται οι επιμέρους τιμές. Μια άλλη βασική ιδιότητα έχει να κάνει με τη διασπορά της συνολικής στοχαστικής ποσότητας, που βρίσκεται ότι ισούται με το άθροισμα των διασπορών των ανεξάρτητων στοχαστικών ποσοτήτων και όταν αυτές έχουν την ίδια κατανομή, ικανοποιούν την σχέση:

$$\Sigma_n^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + ... + \sigma_n^2 = n\sigma_1^2$$

Δηλαδή αθροίζονται τα τετράγωνα τους. Σε συνηθισμένα ανύσματα, η αντίστοιχη σχέση προέρχεται από τη διατήρηση του τετραγώνου του μήκους τους. **Η σχέση αυτή εκφράζει το Πυθαγόρειο θεώρημα**. Από τα παραπάνω αποτελέσματα άμεσα προκύπτει ότι:

$$\frac{\Sigma_n}{< z_n >} \xrightarrow[n\to\infty]{} 0$$

Δηλαδή, ο λόγος για τη συλλογή τείνει στο μηδέν για $n\to\infty$ και η μακροσκοπική Φύση εμφανίζεται χωρίς αβεβαιότητα. Η σχέση αυτή σημαίνει ότι η αβεβαιότητα που υπάρχει στο μακροσκοπικό όριο είναι αμελητέα και η κατάσταση αυτή μπορεί να περιγραφεί χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα. Στο όριο αυτό παίρνουμε την κλασική άποψη. Έτσι το μακροσκοπικό αυτό σύστημα εμφανίζεται σαν να μην έχει αβεβαιότητα, και μπορούμε να το περιγράψουμε με αυτόν τον τρόπο. Τελικά:

**Οι νόμοι της μακροσκοπικής φυσικής διατυπώθηκαν χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα.**

Το ερώτημα που τίθεται είναι: έχοντας σαν δεδομένο ότι η μακροκατάσταση ενός συστήματος περιγράφεται με προσδιοριστικό τρόπο χωρίς αβεβαιότητα, ποια είναι η συμπεριφορά της μικροκατάστασης; Οι δυνατότητες που υπάρχουν είναι αφενός η μικροκατάσταση να περιγράφεται επίσης με προσδιοριστικό τρόπο χωρίς αβεβαιότητα, αφετέρου η μικροκατάσταση να περιγράφεται με στοχαστικό τρόπο αλλά η κατανομή πιθανότητας να έχει πεπερασμένες ροπές, οπότε η μακροκατάσταση εμφανίζεται χωρίς αβεβαιότητα. Ποιό από τα δύο συμβαίνει; Το ερώτημα αυτό **μόνο το πείραμα μπορεί να το απαντήσει**. Η πειραματική απάντηση είναι ότι η μικροκατάσταση σε φυσικά συστήματα πρέπει να περιγραφεί με στοχαστικό τρόπο. **Άρα στο μικροσκοπικό επίπεδο το σύστημα πρέπει να περιγραφεί με στοχαστικό τρόπο.** Έτσι, πάντοτε υπάρχει αβεβαιότητα.

## Περί «μέτρου»

Εκτός από τις παραπάνω ιδιότητες, η κατανομή της συνολικής στοχαστικής ποσότητας για $n\to\infty$, μπορεί επίσης να βρεθεί και έχει την κανονική κατανομή:

$$P(z_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\Sigma_n^2}} \exp\left(-\frac{(z_n - < z_n >)^2}{2\Sigma_n^2}\right)$$

Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι βασικό όριο στη θεωρία των πιθανοτήτων και αποκαλείται **Κεντρικό Οριακό Θεώρημα** (ΚΟΘ). Το όριο αυτό είναι ανεξάρτητο της κατανομής των επιμέρους ποσοτήτων. Η συγκεκριμένη οριακή συνάρτηση δίνει ότι η ανηγμένη μεταβλητή είναι η

$$\frac{z_n - < z_n >}{\Sigma_n}$$

Η ποσότητα αυτή μας δίνει ότι το $z_n$ έχει μια μετατόπιση, ίση με τη μέση της τιμή (**που μας επιτρέπει να καθορίσουμε την αρχή κατά το δοκούν**), ενώ η τυπική της απόκλιση ($\Sigma_n$) είναι το «μέτρο» της μεταβολής. Δηλαδή, το «μέτρο» καθορίζεται από την αβεβαιότητα. **Άρα η ύπαρξη των «ροπών» της κατανομής συνεπάγεται την ύπαρξη «μέτρου».**

Ένα από τα κορυφαία επιτεύγματα των αρχαίων Ελλήνων είναι η εισαγωγή του «μέτρου». Τα μαθηματικά όμως που υπήρχαν στην αρχαιότητα ήταν Προσδιοριστικά. Την εποχή αυτή απέβλεπαν να περιγράψουν τη μακροσκοπική συμπεριφορά της Φύσης με Προσδιοριστικό τρόπο. Η εισαγωγή του «μέτρου» αποδίδεται στον Ρόδιο Κλεόβουλο (6ος π.Χ. αι, βρισκόταν στη ζωή τουλάχιστον έως το 560 π.Χ.), έναν από τους επτά σοφούς της αρχαιότητας. Οι αρχαίοι Έλληνες έδιναν πολύ μεγάλη σημασία στο «μέτρο», δηλαδή στο μέγεθος των πραγμάτων. Το γνωμικό «**μέτρον άριστον**» το δηλώνει, πρέπει δηλαδή το κάθε πράγμα να έχει το κατάλληλο μέγεθος. Απομάκρυνση από το ενδεδειγμένο «μέτρο» θεωρείτο ύβρης προς τη Φύση. **Η ύπαρξη δε των «ροπών» συνεπάγεται την ύπαρξη του «μέτρου».**

## Πυθαγόρειο θεώρημα & Ευκλείδειος χώρος

Αντιμετωπίσαμε το μακροσκοπικό σύστημα με μια συνολική ποσότητα, που είναι το άθροισμα των επιμέρους ανεξάρτητων στοχαστικών ποσοτήτων:

$$y_n = x_1 + x_2 + ... + x_n$$

Η ύπαρξη των «ροπών» συνεπάγεται δύο βασικά θεωρήματα:

1) Η μέση τιμή της συνολικής ποσότητας ισούται με το άθροισμα των επιμέρους μέσων τιμών, και

2) Η διακύμανση της συνολικής ποσότητας ($\Sigma_n^2$) ισούται με το άθροισμα των επιμέρους διακυμάνσεων ($\sigma_i^2$).

Το δεύτερο αποτέλεσμα ισοδυναμεί με την ισχύ του Πυθαγόρειου θεωρήματος. Άρα: **Η ύπαρξη των «ροπών» συνεπάγεται «Ευκλείδειο» χώρο.** Έτσι, περιοριζόμενοι σε στοχαστικές ποσότητες των οποίων η κατανομή έχει «ροπές», περιοριζόμαστε σε «Ευκλείδειο» χώρο. Εί-

δαμε δε ότι **στην περίπτωση που βρισκόμαστε σε «Ευκλείδειο» χώρο, η αβεβαιότητα που υπάρχει στο μικροσκοπικό σύστημα, μπορεί να αγνοηθεί στο μακροσύστημα.** Επίσης, είδαμε παραπάνω ότι όταν υπάρχουν οι «ροπές», τότε το άπειρο άθροισμα από τις ανεξάρτητες στοχαστικές μεταβλητές, δίνει μια μεταβλητή που έχει κανονική κατανομή, ανεξάρτητα από την κατανομή των επιμέρους κατανομών (απαιτείται όμως να υπάρχουν οι «ροπές»).

Μια **μακροσκοπική** περίπτωση στην οποία η αβεβαιότητα δεν μπορεί να αγνοηθεί, είναι η περίπτωση των χρηματοοικονομικών, μια περίπτωση γνωστή σε όλους. Η παραδοχή της «Ευκλείδειας» συμπεριφοράς, οδηγεί στην ονομαστή εξίσωση Black-Scholes, βραβείο Nobel 1997 στα οικονομικά, το οποίο επιδεικνύει και τη σημασία της. Η δυνατότητα όμως αυτή δεν ισχύει στη πράξη και στα χρηματο-οικονομικά δεν μπορεί να γίνει εξάλειψη της αβεβαιότητας. Το αποτέλεσμα αυτό επίσης συνεπάγεται τη σημασία της μορφοκλασματικής συμπεριφοράς και μας οδηγεί στη μελέτη στοχαστικών ποσοτήτων με κατανομές που δεν έχουν «ροπές».

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΩΡΙΣ «ΡΟΠΕΣ»

Στην περίπτωση αυτή **δεν απαιτείται** η ύπαρξη των «ροπών». Η περίπτωση αυτή περιλαμβάνει και την προηγούμενη, δηλαδή της κατανομής που έχει «ροπές». Επομένως η κατανομή μπορεί και να έχει «ροπές», όμως αυτό δεν απαιτείται. Για να μελετήσουμε ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε στοχαστικές ποσότητες που οι κατανομές τους γενικά δεν έχουν «ροπές».

Έτσι πρέπει να αντιμετωπίσουμε το άθροισμα στοχαστικών μεταβλητών με διαφορετικό τρόπο. Μια δυνατή περίπτωση είναι αυτή της παραδοχής ότι στην άθροιση παίρνουμε μια μεταβλητή της οποίας η κατανομή πιθανότητας θα έχει τη ίδια μορφή με αυτή των επιμέρους κατανομών (**ομοιότητα**). Τελικά αντιμετωπίζουμε το άθροισμα δύο ανεξάρτητων στοχαστικών μεταβλητών. Οι Μαθηματικοί έλυσαν αυτό το πρόβλημα και βρήκαν τις λεγόμενες «ευσταθείς» κατανομές, ή κατανομές Lévy (~1920), οι οποίες αποτελούν μια ομάδα κατανομών για τις οποίες δεν απαιτείται πλέον να υπάρχουν οι «ροπές» τους. Εξετάζουμε τη περίπτωση των συμμετρικών ευσταθών κατανομών που η μέση τιμή της κάθε μεταβλητής είναι μηδενική και προκύπτει συνήθως από τη συμμετρία, μια και η μέση τιμή της μεταβλητής είναι η πρώτη ροπή της κατανομής, που υποθέτουμε ότι μπορεί και να μην υπάρχει. Δηλαδή, η τιμή του ολοκληρώματος που την προσδιορίζει, βρίσκεται από τη συμμετρία ότι είναι μηδενική (όπως π.χ. στη Λορεντζιανή κατανομή). Στην περίπτωση αυτή βρέθηκε ότι ο μετασχηματισμός Fourier των συμμετρικών ευσταθών κατανομών δίνεται από τη σχέση

$$\tilde{P}(k) \propto e^{-\gamma|k|^{\alpha}}$$

με $\gamma>0$ και $0<\alpha\leq 2$. Έχουμε βρει το μετασχηματισμό Fourier της κατανομής πιθανότητας, **χωρίς όμως να τον εκφράζουμε συναρτήσει των «ροπών»**. Η περίπτωση του $\alpha=1$ δίνει τη Λορεντζιανή κατανομή και η περίπτωση με $\alpha=2$ αντιστοιχεί στη Γκαουσιανή κατανομή. Η πρώτη αφορά μια κατανομή για την οποία δεν υπάρχει καμιά ροπή, ενώ η τελευταία αφορά μια κατανομή για την οποία υπάρχουν όλες οι ροπές της. Η περίπτωση δηλαδή με $\alpha=2$ αντιστοιχεί σε κατανομή που έχει όλες τις ροπές της, ενώ για $\alpha<2$ έχουμε κατανομές που δεν έχουν όλες τους τις ροπές. Σημειώστε δε ότι η Λορεντζιανή κατανομή χρησιμοποιείται εκτενώς στις φυσικές επιστήμες. Η κατανομή αυτή χρησιμοποιείται για να γίνει π.χ. η προσαρμογή των φασμάτων. Το ότι χρησιμοποιείται εκτενώς συνεπάγεται ότι «**Η όψη της Φύσης είναι μορφοκλασματική**». Μερικές φορές δε για απλότητα χρησιμοποιείται η Γκαουσιανή κατανομή.

Επίσης στη γενική περίπτωση έχουμε για τη διαφορική μεταβολή:

$$dy_n = dx_1 + dx_2 + \ldots + dx_n$$

Δηλαδή η ολική μεταβολή είναι το άθροισμα των επιμέρους μεταβολών. Στην περίπτωση που οι κατανομές έχουν «**ροπές**», τότε βάσει του ΚΟΘ η ολική κατανομή είναι η κανονική. Σε περίπτωση που μπορούμε να χωρίσουμε τις επιμέρους διαφορικές μεταβολές με παρόμοιο τρόπο, τότε με βάση το ΚΟΘ και οι επιμέρους μεταβολές έχουν επίσης την κανονική κατανομή. Κάνοντας την άθροιση τέτοιων μεταβολών, παίρνουμε ως αποτέλεσμα ότι η συνολική ποσότητα μεταβάλλεται με τρόπο συνεχή, όμως η παράγωγος της μπορεί να έχει και ασυνέχειες. Στην περίπτωση όμως που οι κατανομές δεν έχουν «ροπές», τότε για εκτός από τις ασυνέχειες στις παραγώγους, μπορούμε να έχουμε ασυνέχειες και στην ολική μεταβολή.

### Το «Μέτρο» χάθηκε, μαζί και το Πυθαγόρειο θεώρημα!

Το «μέτρο» ορίσθηκε με βάση τη διακύμανση. Τίθεται έτσι το ερώτημα εάν «μέτρο» υπάρχει πάντα ώστε να ισχύει πάντα το Πυθαγόρειο θεώρημα. Όταν υπάρχουν οι «ροπές» της κατανομής, διασφαλίζονται και τα δύο. Τι γίνεται όμως όταν δεν υπάρχουν αυτές; Στην περίπτω-

ση των ευσταθών κατανομών, βρήκαμε ότι για $\alpha<2$ δεν υπάρχει η διακύμανση (δεν είναι πεπερασμένη). Η αβεβαιότητα τότε πρέπει να αντιμετωπιστεί με άλλο τρόπο (Θεωρία της Πληροφορίας). Επειδή το «μέτρο» προσδιορίζεται με βάση τη διακύμανση, συνάγεται επίσης ότι δεν υπάρχει «μέτρο». **Το «μέτρο» όμως είναι βασικό στοιχείο για τη διαβίωση μας, και πρέπει να βρεθεί.**

## Το «Μέτρο» βρέθηκε, όχι όμως και το Πυθαγόρειο θεώρημα

Μπορούμε να ορίσουμε το «μέτρο» με διαφορετικό τρόπο. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το «μέτρο» της κατανομής εκφράζει το εύρος της και ο ορισμός του «μέτρου» πρέπει να εκφράζει τη παραπάνω ιδιότητα. Ένας διαφορετικός ορισμός για συμμετρικές ευσταθείς κατανομές δίνεται από τη σχέση:

$$\tilde{m} \equiv \lim_{\nu\to 0}\left(<|x|^{\nu}>\right)^{1/\nu}$$

Με τον ορισμό αυτό το «μέτρο» υπάρχει, είτε υπάρχουν «ροπές» είτε όχι. **Το «μέτρο» αυτό δίνει ένα μέγεθος του εύρους της κατανομής.** Από τον ορισμό αυτό παίρνουμε τη σχέση

$$\delta \equiv \tilde{m} \propto \gamma^{1/\alpha}$$

Η ποσότητα $D=1/\alpha$ είναι η αποκαλούμενη «**μορφοκλασματική διάσταση**» του χώρου. Δεν μπορούμε όμως να διασφαλίσουμε την ισχύ του Πυθαγορείου θεωρήματος. Όσον αφορά τη περίπτωση των συμμετρικών ευσταθών κατανομών, βρίσκεται ότι το «εύρος» τους $\delta$ ικανοποιεί τη σχέση

$$(\delta)^{\alpha} \propto \gamma$$

Η περίπτωση που μελετάμε αφορά την περίπτωση όπου όλες οι επί μέρους στοχαστικές μεταβλητές έχουν κατανομές με το ίδιο $\alpha$, αλλά μπορούν να έχουν διαφορετικό $\gamma$. Επίσης, στην περίπτωση του αθροίσματος ανεξάρτητων μεταβλητών, ο μετασχηματισμός Fourier του αθροίσματος ισούται με το γινόμενο των επιμέρους μετασχηματισμών. Εφόσον η παράμετρος $\alpha$ παραμένει η ίδια, η σταθερά $\gamma$ στο μετασχηματισμό Fourier του αθροίσματος ανεξάρτητων μεταβλητών, ισούται με το άθροισμα των επιμέρους σταθερών και συνεπάγεται τη σχέση για το συνολικό εύρος

$$(\Delta_{\text{συνολ.}})^{\alpha} = \sum_i (\delta_i)^{\alpha}$$

με $0<\alpha\leq 2$. Δηλαδή, έχουμε την άθροιση με τα εύρη για τις επιμέρους κατανομές, $\delta_i$, να υψώνονται στη **δύναμη α**.

Όταν $\alpha=2$, τότε έχουμε μια σχέση αντίστοιχη του Πυθαγόρειου θεωρήματος και ο χώρος αντιστοιχεί στον Ευκλείδειο. Όταν όμως $\alpha<2$, τότε ΔΕΝ ισχύει το «Πυθαγόρειο θεώρημα» για τις ανεξάρτητες αυτές στοχαστικές μεταβλητές και ο χώρος λέγεται μορφοκλασματικός. Σημειώστε, ότι στη περίπτωση αυτή δεν έχουμε πλέον άθροισμα τετραγωνικών όρων. **Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα των πιθανοτήτων επιβάλει α=2.** Η μορφοκλασματική περίπτωση, δίνει μια περίπτωση «μη-Ευκλείδειας» Γεωμετρίας που είναι **εύκολα προσιτή**. **Η παραβίαση της περίπτωσης α=2 σε στοχαστικά συστήματα, αρχικά βρέθηκε στα χρηματο-οικονομικά. Οι ευσταθείς κατανομές, οδηγούν για α<2 στην παραβίαση του Πυθαγορείου θεωρήματος, οπότε για τις κατανομές αυτές συνεπάγεται ότι ο χώρος δεν είναι πλέον Ευκλείδειος.**

## ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Πρέπει να ορισθεί η αβεβαιότητα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι «ροπές», δεν υπάρχει και η διακύμανση. Δηλαδή η διακύμανση αυτή τείνει στο άπειρο για το σύστημα και πρέπει να βρεθεί μια άλλη συνάρτηση που να είναι πεπερασμένη. Η συνάρτηση αυτή θα εκφράζει επίσης την αβεβαιότητα που υπάρχει στη μακροσκοπική κατάσταση ενός συστήματος, και ονομάζεται **Εντροπία ή Πληροφορία**. Η συνάρτηση αυτή πρωτο-εισήχθηκε στη φυσική στη μελέτη των θερμικών μηχανών και ο ορισμός της αρχικά δόθηκε από τον Boltzmann (1844-1906). Ο ορισμός αυτός γενικεύεται στην περίπτωση που οι μικροκαταστάσεις δεν έχουν την ίδια πιθανότητα να εμφανιστούν και δίνεται από την:

$$H = S/k_B = -\sum_i p_i \ln p_i$$

Η σταθερά $k_B$ έχει να κάνει με τις μονάδες που χρησιμοποιούνται. Το βασικό στοιχείο είναι ότι η ποσότητα αυτή υπάρχει είτε η κατανομή έχει «ροπές», είτε όχι. **Μπορεί δε να χρησιμοποιηθεί και στις δύο αυτές περιπτώσεις**. Μια ιδιότητα της επίσης είναι ότι προσδιορίζει εάν υπάρχει αβεβαιότητα στο σύστημα: **είναι θετική όταν υπάρχει και μηδενίζεται όταν δεν υπάρχει.**

Έστω ότι στο σύστημα υπάρχει αβεβαιότητα. Σε φυσικά συστήματα, η αβεβαιότητα προέρχεται από το ότι υπάρχουν πολλές μικροκαταστάσεις σε μια μακροκατάσταση. Δηλαδή ο αριθμός των μικροκαταστάσεων εκφράζει την αβεβαιότητα που υπάρχει στη μακροκατάσταση. Για το προσδιορισμό της αβεβαιότητας της μακροκατάστα-

σης, χρησιμοποιείται ο αριθμός των προσιτών μικροκαταστάσεων που είναι οι δυνατές επιλογές για το σύστημα κάτω από τις υπάρχουσες συνθήκες, για τον ορισμό της αβεβαιότητας. Το πρώτο βήμα είναι να βρούμε τον αριθμό των προσιτών στο σύστημα μικροκαταστάσεων, έστω W. Εάν W>1 τότε υπάρχει αβεβαιότητα στο σύστημα. Με τη χρήση του αριθμού αυτού των μικροκαταστάσεων, γίνεται ο προσδιορισμός (με προσδιοριστικό τρόπο) της αβεβαιότητας ως ο ελάχιστος αριθμός των δυαδικών ερωτήσεων που πρέπει να γίνουν για να προσδιοριστεί σε ποια από αυτές το σύστημα βρίσκεται. Ο αριθμός αυτός αποτελεί ένα μέτρο της αβεβαιότητας που υπάρχει στο σύστημα και μπορεί να βρεθεί με το να παίρνουμε κάθε φορά το μισό και να θέτουμε το ερώτημα σε ποιο μέρος βρίσκεται το σύστημα. Ο αριθμός των ερωτήσεων ισούται με το λογάριθμο του W και ορίστηκε από τον Boltzmann ως η Εντροπία του συστήματος. Όταν το σύστημα αποτελείται από δύο ανεξάρτητα μέρη, τότε ο ολικός αριθμός των προσιτών μικροκαταστάσεων είναι $W_1 \times W_2$, οπότε η Εντροπία του συνολικού συστήματος είναι προσθετική ποσότητα. Η διαπραγμάτευση που έκανε ο Gibbs κάνει πιο εμφανή τη σύνδεση της Εντροπίας με τους βαθμούς ελευθερίας, (βλέπε επίσης το νόμο ισορροπίας των φάσεων του Gibbs) και γίνεται εμφανέστερη η σύνδεση της με την Πληροφορία κατά Shannon (1916-2001). Άμεση συνέπεια είναι ότι όταν υπάρχει μία μόνο μικροκατάσταση, δεν υπάρχει αβεβαιότητα στο σύστημα και η Εντροπία του είναι μηδενική. Όταν οι μικροκαταστάσεις δεν έχουν την ίδια πιθανότητα να εμφανιστούν, τότε η κατάλληλη συνάρτηση είναι η:

$$H = S/k_B = -\sum_i p_i \ln p_i$$

**Η ποσότητα αυτή εκφράζει την αβεβαιότητα που υπάρχει στο σύστημα, οι δε πιθανότητες είναι ανεξάρτητες από την επιλογή της αρχής.**

Το δεύτερο σημαντικό σημείο, για τον προσδιορισμό της κατάστασης ισορροπίας, είναι ότι **η Εντροπία ενός μακροσκοπικού συστήματος εμφανίζει ένα οξύ μέγιστο, περί το οποίο βρίσκεται η συντριπτική πλειονότητα των μικροκαταστάσεων**. Η θέση του μεγίστου αυτού καθορίζει τη μακροσκοπική κατάσταση ισορροπίας. Για ιστορικούς λόγους πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η Εντροπία εισήχθηκε αρχικά στη μελέτη θερμικών μηχανών. Η αβεβαιότητα σε αυτή τη περίπτωση προέρχεται από το ότι τα μόρια του αερίου κινούνται με τυχαίο τρόπο, η δε μεταβολή της προσδιορίστηκε πειραματικά στη Θερμοδυναμική ότι ισούται με

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Η σύνδεση της με τις θερμοδυναμικές ποσότητες, παρουσιάζεται σε αντίστοιχα βιβλία.

## Εξισώσεις κίνησης

Το επόμενο ερώτημα είναι πως αλλάζει η Πληροφορία - Εντροπία του συστήματος με το χρόνο που δίνει και την εξέλιξη του συστήματος. Το θεμελιώδες αυτό ερώτημα μπορεί να μελετηθεί επίσης σε συστήματα όταν γίνεται μετάδοση της μακροκατάστασης τους από πομπό (όπως π.χ. στα τηλεγραφήματα, που είναι και ένας φυσικός τρόπος για να μελετηθεί το φαινόμενο). Σε ιδανική μετάδοση, στο δέκτη η μακροκατάσταση έχει τις ίδιες μικροκαταστάσεις, με την ίδια πιθανότητα εμφάνισης. Άρα στη μετάδοση αυτή η Πληροφορία - Εντροπία μένει η ίδια. Όλοι γνωρίζουν ότι στη μετάδοση, η περιγραφή της μακροκατάστασης του συστήματος στο δέκτη, δεν μπορεί να γίνει με μικρότερη αβεβαιότητα απ' ότι στον πομπό. Η αβεβαιότητα όμως αυτή γίνεται μεγαλύτερη, όταν η μετάδοση δεν είναι ιδανική. Έτσι, εάν κάτι είναι μερικώς σαφές στο πομπό, δεν υπάρχει τεχνική που θα το κάνει περισσότερο σαφές στο δέκτη, **δηλαδή πάντοτε η αβεβαιότητα (Πληροφορία - Εντροπία) δεν μειώνεται**.

Πως προσδιορίζεται η εξέλιξη ενός συστήματος με τη χρήση της Πληροφορίας - Εντροπίας; Ο νόμος αυτός είναι βασικός νόμος της Φύσης και είναι:

**Η εξέλιξη του συστήματος είναι αυτή που με τις υπάρχουσες συνθήκες δεν μειώνει την ολική Πληροφορία – Εντροπία.**

Ο νόμος της εξέλιξης προέρχεται από το ότι **το σύστημα έχει την τάση να καταλάβει περισσότερες μικροκαταστάσεις. Εάν δε είναι επιτρεπτό, τότε τις αυξάνει.** Η εξέλιξη αυτή της Εντροπίας χρησιμοποιείται στη Στατιστική Φυσική για να βρεθούν οι νόμοι κατανομής στις διάφορες συλλογές. Η συμπεριφορά αυτή είναι θεμελιώδης νόμος της Φύσης.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν οι κλασικοί ορισμοί για την Εντροπία - Πληροφορία. Όμως πρόσφατα έχουν δοθεί πλήθος ορισμών για τις ποσότητες αυτές, που έχουν δημιουργήσει ένα κυκεώνα. Οι επιθυμούντες να τις μελετήσουν μπορούν να απευθυνθούν στη βιβλιογραφία.

## ΕΠΙΜΥΘΙΟ

Τα θέματα που πρέπει να απαντηθούν είναι τόσο εάν υπάρχει μικροσκοπική και μακροσκοπική συμπεριφορά της Φύσης, όσο και εάν η αβεβαιό-

τητα στη μικροκατάσταση είναι μακροσκοπικά ορατή. Ήταν ο Ηράκλειτος που πρώτος πρόβαλε την ύπαρξη της μικροσκοπικής συμπεριφοράς της Φύσης. Εάν η αβεβαιότητα της μικροκατάστασης μεταφέρεται στη μακροκατάσταση απαντήθηκε τον 20ο αιώνα, δηλαδή εάν η κατανομή πιθανότητας των τιμών της μικροκατάστασης έχει «ροπές», τότε η μακροκατάσταση μπορεί να περιγραφεί χωρίς αβεβαιότητα, όταν όμως οι «ροπές» δεν υπάρχουν, τότε η αβεβαιότητα δεν μπορεί να αγνοηθεί.

Η περιγραφή της Φύσης με βάση τη μικροσκοπική ή μακροσκοπική συμπεριφορά αντιστοιχούν αφενός στην περιγραφή της Στατιστικής Φυσικής και αφετέρου σε αυτή της Θερμοδυναμικής. Συνήθως είναι γνωστή η μακροκατάσταση του συστήματος που όμως είναι συμβατή με πολλές μικροκαταστάσεις. Έτσι δημιουργείται αβεβαιότητα. Είναι γνωστός ο προβληματισμός του ανθρώπου να δεχτεί την ύπαρξη του μικρόκοσμου. Για την ιστορία επίσης αναφέρεται ότι ο Boltzmann (1844-1906) που προώθησε τη μικροσκοπική περιγραφή, οδηγήθηκε από την δύσπιστη επιστημονική κοινότητα της εποχής σε αυτοκτονία, ενώ ο Ηράκλειτος «τη γλίτωσε» με ένα κοσμητικό επίθετο. Είναι περιττό να λεχθεί ότι η μικροσκοπική εικόνα της Φύσης που υπήρχε την εποχή του Boltzmann ήταν λεπτομερέστερη αυτής που υπήρχε την εποχή του Ηράκλειτου. Από τα συμπεράσματα του Ηράκλειτου συνάγεται ότι υπάρχει μικρόκοσμος που βρέθηκε μετά από τουλάχιστο 2000 χρόνια. Η περιγραφή της ύλης ξεκινώντας από τον μικρόκοσμο απαιτεί πιθανότητες και στατιστική. Έτσι χωρίς τα μαθηματικά αυτά η περιγραφή δεν είναι δυνατή. Ο πρώτος που επεσήμανε τη σημασία της αβεβαιότητας ήταν ο Ηράκλειτος (με τις δυνατότητες της τότε εποχής, χρησιμοποιώντας ως παραδείγματα πεσσούς, ποτάμια κ.λπ.). Η απουσία «ροπών» στην κατανομή πιθανότητας μπορεί να μας οδηγήσει σε μη-Ευκλείδειο χώρο. Η εμφάνιση του μη-Ευκλείδειου χώρου, εύκολα διαπιστώνεται στα χρηματο-οικονομικά.

Πρέπει δε να επισημανθεί ότι η Στοχαστική περιγραφή της Φύσης ΔΕΝ απαιτεί κατανομή χωρίς «ροπές». Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η κβαντομηχανική, που συνήθως διαπραγματεύεται κατανομή με «ροπές». Από τις θεωρίες που ήδη έχουν αναπτυχθεί για την περιγραφή της Φύσης, μερικές απαιτούν κατανομή με «ροπές» και μερικές όχι. Πρέπει δε να ξεχωριστούν και να αξιοποιηθούν αναλόγως.

Συχνά γίνεται η ταύτιση της ύπαρξης της Λογικής στη Φύση με την Προσδιοριστική περιγραφή. Όμως αποδεχόμενοι ότι υπάρχει μακροσκοπική και μικροσκοπική περιγραφή της Φύσης, ουσιαστικά δεχόμαστε ότι υπάρχει αβεβαιότητα στη Φύση. Έτσι και η Στοχαστική περιγραφή είναι μια περίπτωση Λογικής της Φύσης. Ένα μέρος του άρθρου είναι να βρει πότε η Στοχαστική περιγραφή ενός μικροσυστήματος οδηγεί σε Προσδιοριστική περιγραφή για το μακροσύστημα με ύπαρξη «ροπών» της κατανομής και πότε όχι.

Η διαμάχη έληξε με το να γίνει η Θερμοδυναμική υποσύνολο της Στατιστικής Φυσικής. Τελικά, όλα μαζί έγιναν υποσύνολο της Θεωρίας της Πληροφορίας. Η αβεβαιότητα είναι βασική ποσότητα της Φύσης και ο βασικός νόμος της Φύσης είναι «Δεν μπορεί να μειωθεί η συνολική αβεβαιότητα». Στη θερμοκρασία του απολύτου μηδενός δεν υπάρχει αβεβαιότητα. Έτσι η Εντροπία μηδενίζεται στη θερμοκρασία αυτή. Τελικά, όταν υπάρχει διακύμανση, χρησιμοποιείται για την περιγραφή του συστήματος. Όταν δεν υπάρχει, πρέπει να βρεθεί άλλη μέθοδος, η οποία είναι γενική, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και όταν υπάρχει η διακύμανση («ροπές»).

Υπάρχει και η κατηγορία των μαθηματικών της Λογικής, που έχει τις ρίζες της στον Αριστοτέλη. Αυτή όμως η κατηγορία αποτελεί μια άλλη ομάδα.

Τελειώνω αναφέροντας την περιγραφή της μακροσκοπικής αβεβαιότητας που δίνει ο Καβάφης, που μας λέει ότι:

*Μέσα στον φόβο και στες υποψίες*
*με ταραγμένο νου και τρομαγμένα μάτια,*
*λιώνουμε και σχεδιάζουμε το πώς να κάμουμε*
*για να αποφύγουμε τον βέβαιο*
*τον κίνδυνο που έτσι φρικτά μας απειλεί.*
*Κι όμως λανθάνουμε, δεν είν' αυτός στον δρόμο.*
*ψεύτικα ήσαν τα μηνύματα*
*(ή δεν τ' ακούσαμε, ή δεν τα νοιώσαμε καλά).*
*Άλλη καταστροφή, που δεν την φανταζόμεθαν,*
*εξαφνική, ραγδαία πέφτει επάνω μας,*
*κι ανέτοιμους – που πια καιρός – μας συνεπαίρνει.*

# Συνέβησαν στο Τμήμα

## Ορκωμοσίες πτυχιούχων

Την Τετάρτη 26/3/2014, την Παρασκευή 18/7/2014 και την Πέμπτη 24/7/2014 πραγματοποιήθηκαν στην Αίθουσα Τελετών του Α.Π.Θ. ορκωμοσίες νέων πτυχιούχων του Τμήματος Φυσικής.

### ΟΙ ΝΕΟΙ ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΙ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
### 26-3-2014

| | |
|---|---|
| ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ | ΦΩΤΙΟΣ |
| ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ | ΑΛΕΞΙΑ |
| ΒΑΛΙΑΝΤΗ | ΜΑΡΙΑ |
| ΒΑΛΟΓΙΑΝΝΗΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΒΑΤΑΛΗΣ | ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ |
| ΒΡΑΝΑΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΒΡΑΤΣΑΣ | ΙΩΑΝΝΗΣ |
| ΓΑΪΤΑΝΑΣ | ΙΩΑΝΝΗΣ |
| ΔΑΝΙΗΛ | ΔΗΜΗΤΡΑ |
| ΔΑΡΤΣΗ | ΟΛΥΜΠΙΑ |
| ΔΕΡΓΙΑΝΛΗΣ | ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ |
| ΔΗΜΑ | ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ |
| ΔΗΜΟΥ | ΕΛΕΝΗ-ΚΥΡΙΑΚΗ |
| ΔΙΑΛΕΚΤΟΠΟΥΛΟΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΕΥΘΥΜΙΑΔΟΥ | ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ |
| ΖΟΠΟΥΝΙΔΗΣ | ΙΩΑΝΝΗΣ-ΦΙΛΙΠΠΟΣ |
| ΘΕΟΔΩΡΙΔΟΥ | ΣΟΝΙΑ |
| ΚΑΛΑΪΤΖΙΔΟΥ | ΗΛΕΚΤΡΑ |
| ΚΑΡΑΜΠΑΤΖΑΚΗΣ | ΗΛΙΑΣ |
| ΚΑΡΟΥΤΣΟΣ | ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ |
| ΚΕΡΑΜΙΔΑ | ΒΑΣΙΛΙΚΗ |
| ΚΙΤΣΟΣ | ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ |
| ΚΟΒΛΑΚΑΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΚΟΜΟΥΣΤΙΒΙΤΟΓΛΟΥ | ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ |
| ΚΟΥΜΛΕΛΗ | ΜΑΡΙΝΑ |
| ΚΟΥΡΟΥΠΗΣ | ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ-ΣΤΑΥΡΑΚΗΣ |
| ΚΟΥΤΣΟΥΓΚΟΥΛΟΥ | ΒΑΪΑ |
| ΚΡΙΘΑΡΙΩΤΗΣ | ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ |
| ΚΥΡΙΑΦΙΝΗΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΛΩΛΗΣ | ΑΓΓΕΛΟΣ |
| ΜΠΑΡΤΖΑ | ΡΑΦΑΗΛΙΑ |
| ΝΑΚΟΥΤΗΣ | ΑΝΤΩΝΙΟΣ |
| ΞΥΛΑΚΗ | ΘΕΟΔΩΡΑ |
| ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ | ΕΥΑΝΘΙΑ |
| ΠΑΠΠΑΣ | ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ |
| ΠΑΣΧΑΛΙΑ | ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ |
| ΠΑΥΛΟΣ | ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ - ΕΥΓΕΝΙΟΣ |
| ΡΩΜΑΝΙΔΗΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΣΑΜΑΡΑ | ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ |
| ΣΑΠΟΥΝΑΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΣΕΡΑΦΕΙΜΙΔΟΥ | ΦΩΤΕΙΝΗ |
| ΤΕΝΕΚΕΤΖΗΣ | ΗΛΙΑΣ |
| ΤΕΡΖΙΔΟΥ | ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ |
| ΤΗΛΑΒΕΡΙΔΗΣ | ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ |
| ΤΟΥΛΚΕΡΙΔΟΥ | ΝΙΚΟΛΕΤΑ |
| ΤΣΑΚΙΡΙΔΗΣ | ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ |
| ΤΣΙΛΙΚΗΣ | ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ |
| ΤΣΙΡΙΓΓΑΚΗΣ | ΑΡΙΣΤΟΦΑΝΗΣ |
| ΤΣΟΛΑΚΗ | ΜΑΡΙΑ |
| ΤΣΟΠΟΥΛΟΥ | ΜΑΡΙΑ-ΕΥΑΝΘΙΑ |

### ΟΙ ΝΕΟΙ ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΙ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
### 18-7-2014

| | |
|---|---|
| ΜΠΑΜΙΔΗΣ | ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ-ΜΟΣΧΟΣ |
| ΝΥΦΑΝΤΗΣ | ΘΩΜΑΣ |
| ΤΑΜΠΛΕΡ | ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ |

# Συνέβησαν στο Τμήμα

## ΟΙ ΝΕΟΙ ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΙ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
## 24-7-2014

| | |
|---|---|
| ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ | ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ |
| ΑΓΓΕΛΟΥ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΑΓΓΕΛΟΥ | ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ |
| ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ | ΣΤΕΛΛΑ |
| ΑΛΜΠΑΝΗ | ΜΑΡΙΑ |
| ΑΜΒΡΟΣΙΑΔΗΣ | ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ |
| ΑΝΔΡΕΑ | ΜΑΡΙΑ |
| ΑΝΕΣΙΑΔΟΥ | ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ |
| ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ | ΘΩΜΑΣ |
| ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ | ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ |
| ΑΡΓΥΡΟΥ | ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΑ |
| ΑΡΜΕΝΑΚΗ | ΜΑΡΙΑ-ΔΕΣΠΟΙΝΑ |
| ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΥ | ΣΤΥΛΙΑΝΗ |
| ΒΕΛΚΟΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ | ΧΡΙΣΤΙΝΑ |
| ΓΕΩΡΓΙΟΥ | ΧΡΗΣΤΟΣ |
| ΓΙΑΓΚΟΥΛΗ | ΟΛΥΜΠΙΑ |
| ΓΙΑΝΝΟΣ | ΘΩΜΑΣ |
| ΓΟΡΑΝΤΗΣ | ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ |
| ΓΡΑΒΑΝΗΣ | ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ |
| ΔΑΝΑ | ΔΑΦΝΗ |
| ΔΕΛΗΜΠΟΖΙΝΗΣ | ΙΩΑΝΝΗΣ |
| ΔΕΛΗΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΖΗΣΟΠΟΥΛΟΥ | ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ |
| ΖΙΩΓΟΥ | ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ |
| ΙΑΣΟΝΟΣ | ΣΩΤΗΡΟΥΛΑ |
| ΙΓΝΑΤΙΑΔΟΥ | ΚΑΡΟΛΙΝΑ |
| ΚΑΛΛΑΣΙΔΗΣ | ΦΩΤΙΟΣ |
| ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ | ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ |
| ΚΑΡΥΔΑΣ | ΜΑΤΘΑΙΟΣ |
| ΚΑΤΟΠΗΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΚΑΤΣΙΑΝΗΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΚΕΤΖΕΤΖΗ | ΣΤΕΦΑΝΙΑ |
| ΚΟΚΚΑΛΗΣ | ΑΓΓΕΛΟΣ-ΚΩΝ/ΝΤΙΝΟΣ |
| ΚΟΣΜΙΔΗΣ | ΣΑΒΒΑΣ |

# Συνέβησαν στο Τμήμα

| | |
|---|---|
| ΚΟΥΤΡΗΣ | ΟΜΗΡΟΣ |
| ΚΡΟΜΜΥΔΑΣ | ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ |
| ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΥ | ΕΥΔΟΚΙΑ |
| ΛΑΜΠΡΟΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΜΑΒΒΙΔΗΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΜΑΚΡΗ | ΑΝΝΑ-ΜΑΡΙΑ - ΑΝΔΡΟΜΑΧΗ |
| ΜΑΛΛΕΤΖΙΔΟΥ | ΛΑΜΠΡΙΝΗ |
| ΜΑΡΜΑΡΑΚΗΣ | ΛΕΩΝΙΔΑΣ |
| ΜΑΣΤΟΡΟΠΟΥΛΟΣ | ΘΡΑΣΥΒΟΥΛΟΣ |
| ΜΑΥΡΟΥΔΗΣ | ΑΝΔΡΕΑΣ |
| ΜΕΛΑΧΡΑ | ΑΦΡΟΔΙΤΗ |
| ΜΗΤΑΛΙΔΟΥ | ΧΡΥΣΟΥΛΑ |
| ΜΙΧΑΗΛ | ΧΡΗΣΤΟΣ |
| ΜΠΙΚΟΥ | ΘΕΟΔΩΡΑ |
| ΜΠΟΡΜΠΟΥΔΑΚΗΣ | ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ |
| ΝΑΖΛΙΔΗΣ | ΑΝΔΡΕΑΣ |
| ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗΣ | ΠΑΥΛΟΣ |
| ΠΑΠΑΒΕΡΓΟΥ | ΙΩΑΝΝΑ |
| ΠΑΠΑΓΟΥΔΗΣ | ΓΕΩΡΓΙΟΣ |
| ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ | ΧΡΗΣΤΟΣ |
| ΠΑΣΜΑΤΣΙΟΥ | ΚΛΑΟΥΝΤΙΑ |
| ΣΑΛΙΑΚΑΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΣΑΜΑΘΡΑΚΗΣ | ΗΛΙΑΣ |
| ΣΕΜΠΡΟΣ | ΘΕΟΦΑΝΗΣ |
| ΣΙΕΜΟΥ | ΣΟΥΛΤΑΝΑ |
| ΣΙΟΥΤΗΣ | ΣΤΑΥΡΟΣ |
| ΣΤΕΡΓΙΟΠΟΥΛΟΥ | ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ |
| ΣΩΤΗΡΙΟΥ | ΕΛΙΣΑΒΕΤ-ΡΑΦΑΕΛΑ |
| ΤΑΟΥΚΙΔΗΣ | ΚΥΡΙΑΚΟΣ |
| ΤΖΗΚΑΣ | ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ |
| ΤΖΗΡΙΝΗ | ΜΑΡΙΑ |
| ΤΖΙΚΑΣ | ΔΗΜΟΣ |
| ΤΖΙΝΤΖΗ | ΒΑΪΑ |
| ΤΖΟΥΛΙΑΣ | ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ-ΕΥΤΥΧΙΟΣ |
| ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ | ΑΝΔΡΙΑΝΑ |
| ΤΡΥΦΩΝΟΣ | ΚΥΡΙΑΚΟΣ |
| ΤΣΑΓΚΑΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΤΣΕΛΙΚΑΣ | ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ |
| ΤΣΙΑΡΑΣ | ΑΓΓΕΛΟΣ |
| ΤΣΙΛΦΙΔΟΥ | ΣΟΦΙΑ |
| ΤΣΙΜΠΟΥΚΗΣ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ |
| ΤΣΙΝΤΖΗΣ | ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ |
| ΦΩΤΙΑΔΟΥ | ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ |
| ΧΑΤΖΗΝΙΚΟΛΑ | ΣΤΕΛΙΟΣ |
| ΧΑΤΖΗΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ | ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ |

# Συνέβησαν στο Τμήμα

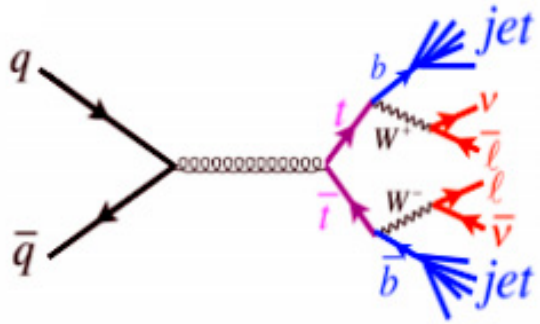
## Ορκωμοσία διδακτόρων

Στις 7/7/2014 ορκίστηκαν οι νέοι διδάκτορες του Τμήματος Φυσικής.

**ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ**

*Επιβλ.: Ι. Σειραδάκης*

«Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Αστρονομία και Τεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα»




**ΚΟΥΣΚΟΥΡΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

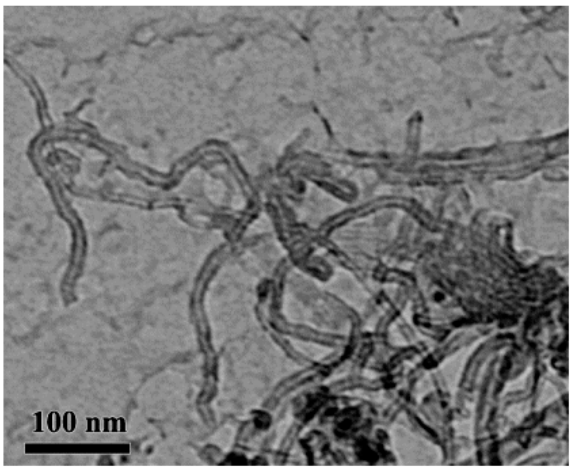
*Επιβλ.: Χ. Πετρίδου*

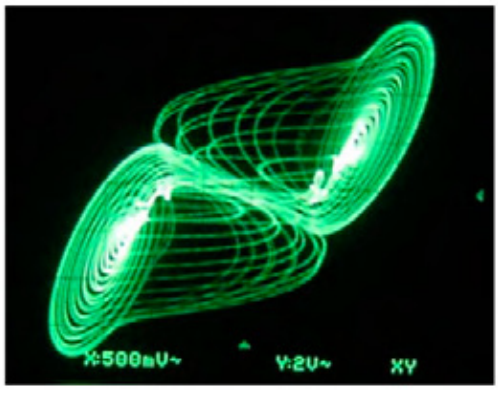
"Study of two boson production from their leptonic decays in the ATLAS Experiment"

**ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

*Επιβλ.: Κ. Χρυσάφης*

"High performance polypropylene nanocomposites, with enhanced thermal properties"




**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ**

*Επιβλ.: Ι. Κυπριανίδης*

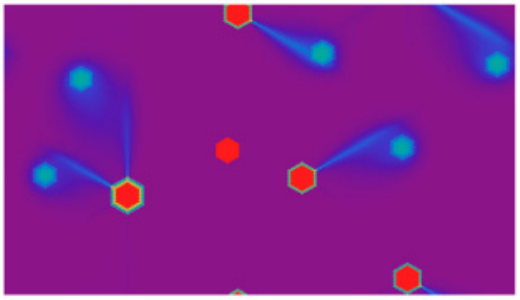
«Μελέτη της Δυναμικής Συμπεριφοράς Συζευγμένων Μη-Γραμμικών Κυκλωμάτων Υψηλής Τάξης»

**ΣΚΑΡΠΑΛΕΖΟΣ ΛΟΥΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΜΑΡΚΟΣ**

*Επιβλ.: Π. Αργυράκης*

«Μελέτη διάχυσης σε ανομοιογενή συστήματα»



## Συνέδρια

**Πανουτσοπούλου Κων/ντίνα**
Φοιτήτρια Τμ. Φυσικής

Στις 26-28 Μαΐου 2014 παραβρέθηκα στο συνέδριο **CHERNE** (Collaboration For Higher Education in Radiological and Nuclear Engineering) που πραγματοποιήθηκε στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, υπό την αιγίδα του τμήματος Φυσικής. Όλες οι μέρες κύλησαν με παρουσιάσεις προπτυχιακών και μεταπτυχιακών φοιτητών, υποψηφίων διδακτόρων καθώς και καθηγητών πάνω σε θέματα εκπαίδευσης και έρευνας στο πεδίο της Ραδιολογικής και Πυρηνικής Τεχνολογίας. Μετά από κάθε παρουσίαση ακολουθούσε συζήτηση και ερωτήσεις των υπολοίπων που στην ουσία ολοκλήρωναν το θέμα από πολλές πλευρές. Η όλη οργάνωση ενίσχυσε την πληρότητα του συνεδρίου και σίγουρα ευχαρίστησε όλους όσους ήρθαν από την υπόλοιπη Ευρώπη για να παρακολουθήσουν το γεγονός, αποδεικνύοντας ότι ως διοργανώτρια, η Θεσσαλονίκη, έκανε παραπάνω από αυτά που ήταν δυνατόν να γίνουν στους χώρους του πανεπιστημίου.

Θα σταθώ όμως στα πράγματα που μου έκαναν εντύπωση από όλο το γεγονός και διαφέρουν από άλλα συνέδρια παρόμοιου περιεχομένου. Αρχικά το πρώτο μέρος του συνεδρίου αναφερόταν στην εκπαίδευση και πως μπορεί μια κοινότητα να φέρει τα μέγιστα εκπαιδευτικά αποτελέσματα με τα μέσα που διαθέτει. Στην εναρκτήρια ομιλία που έδωσε ο γραμματέας του CHERNE, καθηγητής Jose Ródenas, από το Universitat Politechnica de Valencia, Spain, έθιξε το θέμα της μάθησης και το υπάρχον σύστημα μεταβίβασης γνώσεων που εφαρμόζεται. Αυτό το σύστημα, όπως όλοι γνωρίζουμε, στηρίζεται στις πολλές εξετάσεις (ίσως και μία κάθε μήνα) και πλήρη προγραμματισμό των υποχρεώσεων ενός φοιτητή. Διαφώνησε με το παραπάνω σύστημα και πρότεινε κάτι εναλλακτικό που θα μπορούσε να είναι μια καινούργια μεθοδολογία που βέβαια εφαρμοζόταν από αρχαιοτάτων χρόνων. Η μέθοδος αυτή έχει τις ρίζες της στην αρχαία Ελλάδα, οπού εφαρμοζόταν από τον Πλάτωνα, τον Αριστοτέλη και πολλούς άλλους. Αυτό που αντιπρότεινε είναι μια τάξη με ενεργούς μαθητές, οι οποίοι θα καθοδηγούνται έτσι ώστε να τους κεντρίζεται το ενδιαφέρον και να προχωρούν μόνοι τους στο επόμενο στάδιο αναζήτησης της γνώσης, με τον δάσκαλο να έχει πάντα συμβουλευτικό ρόλο. Κάθε μάθημα θα πρέπει να προσαρμόζεται έτσι, ανάλογα με τις ερωτήσεις και τα ενδιαφέροντα των φοιτητών που θα συμμετέχουν και θα συζητούν μεταξύ τους ή και με τον καθοδηγητή-διδάκτορα. Τελικά ο βαθμός θα είναι αποτέλεσμα συνεχούς εκτίμησης της ικανότητας που θα έχει η τάξη, όχι απαραίτητα με εξετάσεις αλλά με παρουσίαση της δουλειάς του εκάστοτε φοιτητή. Η ομιλία έφερε πολλές συζητήσεις μέσα στην αίθουσα, με διάφορες ερωτήσεις και απαντήσεις πάνω σε ένα ζήτημα που είναι η απαρχή κάθε εκπαιδευτικού συστήματος. Γιατί όμως δεν εφαρμόζεται σε κανένα πανεπιστήμιο, αφού ενθαρρύνεται από πολλούς καθηγητές μεμονωμένα; Εάν υπήρχε μια τέτοια τάξη, σίγουρα θα ήθελε ο καθένας να πάρει μέρος, τόσο ως καθηγητής, αλλά και ως μαθητής, παρόλα αυτά η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος φαντάζει κάπως ουτοπική. Αυτό που προσπαθούσε ο ομιλητής να τονίσει και με αυτό θα κλείσω αυτό το κομμάτι, είναι ότι οι ρόλοι είναι λάθος στα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Με μια λέξη ο καλός καθηγητής θα πρέπει να προσαρμόζεται και ο καλός μαθητής θα πρέπει να σκέφτεται ώστε να προάγονται οι πραγματικές αρχές της εκπαίδευσης. Ποιοι είναι οι ρόλοι, στα δικά μας πανεπιστήμια; Αυτό θα πρέπει να το αναρωτηθεί ο καθένας ξεχωριστά, αλλά και όλοι μαζί.

Το δεύτερο κομμάτι που αξίζει να σημειωθεί είναι όχι τόσο η δουλειά που παρουσιάστηκε κατά την διάρκεια του συνεδρίου, που ήταν φυσικά αξιόλογη από όλους τους ομιλητές, αλλά η δυνατότητα που προσφέρει το CHERNE σε εν δυνάμει σπουδαστές να δουλέψουν πάνω σε ένα θέμα της αρεσκείας τους. Εάν για παράδειγμα είσαι υποψήφιος διδάκτορας και θέλεις να κάνεις την διατριβή σου σε ένα θέμα συγκεκριμένο, αλλά η χώρα σου δεν έχει τις εγκαταστάσεις που χρειάζεσαι, τότε απευθύνεσαι στο CHERNE και κάποιος καθηγητής που μπορεί να σε αναλάβει σε καλεί στο πανεπιστήμιό του και συνεχίζεις εκεί τις σπουδές σου. Αυτό πραγματοποιείται μέσα από μια βάση δεδομένων που έχει καταχωρημένα τα πανεπιστήμια- μέλη καθώς και τις ερευνητικές δυνατότητες. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει και μέσω προγραμμάτων ERASMUS, που ενισχύουν τις συνεργασίες ανάμεσα σε χώρες μέσω της ανταλλαγής φοιτητών και προωθούν τους σπουδαστές ανοίγοντας τους ορίζοντές τους, σε νέες ερευνητικές δραστηριότητες.

# Συνέβησαν στο Τμήμα

Σε κάποιον που διαβάζει το άρθρο, όλα αυτά μπορεί να φανούν ένα άπιαστο όνειρο, όμως αυτό που μπορώ να μεταφέρω από το κλίμα που επικρατούσε στο συνέδριο, είναι άνθρωποι διακεκριμένοι, που ήταν πάντα διαθέσιμοι να απαντήσουν σε ερωτήσεις και να δουλέψουν ώστε να συνεχιστεί αυτή η συνεργασία ή ακόμα και να ακούσουν πώς μπορεί να βελτιωθεί από ανθρώπους της νέας γενιάς με περισσότερες γνώσεις τεχνολογίας.

Αυτό που χρειάζεται η συνεργασία αυτή για να συνεχίσει να υπάρχει, ώστε να προσφέρει διεξόδους εκπαίδευσης, είναι η χρηματοδότηση των φορέων για την πραγματοποίηση προγραμμάτων και κυρίως η συμμετοχή μαθητών και καθηγητών. Ίσως η χρηματοδότηση να μην είναι κάτι που μπορούμε να κάνουμε άμεσα, αλλά η συμμετοχή μας είναι δυνατή, ώστε να μην οριοθετούνται οι ιδέες και να διαδίδονται θέματα πάνω στην επιστήμη. Οι μαθητές με τον έναν ή τον άλλον τρόπο μπορούν να γίνουν το επίκεντρο της προσοχής για περαιτέρω βελτίωση και κριτική.

Ραντεβού στο επόμενο CHERNE 2015
που θα γίνει στο Μινσκ της Λευκορωσίας!

# το ΝΟΗΣΙΣ στρατηγικός υποστηρικτής της Αλεξάνδρειας Ζώνης Καινοτομίας

**Το ΝΟΗΣΙΣ καθίσταται πόλος καινοτομίας της ευρύτερης περιοχής φιλοξενώντας στις εγκαταστάσεις του την Αλεξάνδρεια Ζώνη Καινοτομίας και το πρόγραμμα Thessaloniki Smart up Innovation Hub (www.thessinnozone.gr).**

**Το Thessaloniki Smart up Innovation Hub προσφέρει σε νέους ή σε ομάδες που θέλουν να δουν την ιδέα τους να αποκτά εξωστρεφή προσανατολισμό και να βρίσκει διέξοδο στην πραγματική αγορά, τη δυνατότητα να αναδείξουν και να εξελίξουν τα επιχειρηματικά τους σχέδια, ανταλλάσσοντας τεχνογνωσία, αξιοποιώντας τα νέα χρηματοδοτικά εργαλεία και αναπτύσσοντας το επαγγελματικό τους ανθρωπο-δίκτυο (networking).**

**Το Thessaloniki Start up Innovation Hub προσφέρει**

- **Σύγχρονο χώρο δημιουργικής συνεργασίας στο επίκεντρο του οικοσυστήματος καινοτομίας στο «ΝΟΗΣΙΣ».**
- **Δικτύωση με έμπειρους επιχειρηματίες και εξειδικευμένα στελέχη της αγοράς σε Ελλάδα και εξωτερικό.**
- **Σειρά συναντήσεων (workshops) και εξατομικευμένης συμβουλευτικής υποστήριξης σε θέματα: επιχειρηματικού σχεδιασμού, προστασίας πνευματικής ιδιοκτησίας, κοστολόγησης, φοροτεχνικών υπηρεσιών, στρατηγικής και μάρκετινγκ, βελτιστοποίησης προσωπικών δεξιοτήτων, σύγχρονων εργαλείων χρηματοδότησης για καινοτομικές επιχειρήσεις**
- **Δυνατότητα παρουσίασης (pitch) σε δυνητικούς επενδυτές σε Ελλάδα και εξωτερικό.**

**Το ΝΟΗΣΙΣ στα πλαίσια του κοινωνικού του ρόλου:**

- ✓ **Ενισχύει τη νεανική επιχειρηματικότητα και την καινοτομία δίνοντας έμφαση στην υλοποίηση ιδεών και προτάσεων που προέρχονται από νέους ανθρώπους. Συμβάλλει με τον τρόπο αυτό στην καταπολέμηση της ανεργίας και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.**
- ✓ **Θέτει τους επόμενους στόχους και σκοπούς που επιδιώκει προσφέροντας όχι μόνο απλά τα ερεθίσματα στους νέους επιστήμονες, αλλά δημιουργώντας τις προϋποθέσεις και το πλαίσιο αξιοποίησης των ικανοτήτων τους με τη χρήση νέων τεχνολογιών και μεθόδων.**
- ✓ **Προσφέρει πλέον ένα ολοκληρωμένο και δομημένο περιβάλλον αρχικά για την εξοικείωση και την άτυπη εκπαίδευση και στη συνέχεια για την περαιτέρω ενασχόληση και ανάπτυξη της καινοτομικής επιχειρηματικής σκέψης με στόχο την πρόοδο και την επαγγελματική σταδιοδρομία των νέων.**

** Αναπαραγωγή από την ιστοσελίδα του ιδρύματος.*

Thessmart INNOHUB
new business starts here!