



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Επιστήμη και φιλοσοφία της πληροφορίας:
Εφαρμογές στη μουσικολογία και μουσική πληροφορική.**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Κωνσταντίνος, Η. Μπακογιάννης

Αθήνα, Ιούλιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Επιστήμη και φιλοσοφία της πληροφορίας:
Εφαρμογές στη μουσικολογία και μουσική πληροφορική.**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Κωνσταντίνος, Η. Μπακογιάννης

Συμβουλευτική Επιτροπή : Γεώργιος Καμπουράκης

Θεοδώρα Βαρβαρίγου

Αναστασία Γεωργάκη

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 13^η Ιουλίου 2020.

.....
Θ. Βαρβαρίγου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Κ. Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Α. Γεωργάκη

Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

.....
Κ. Πολιτόπουλος

Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Α. Ανδρεοπούλου

Επικ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Αθήνα, Ιούλιος 2020

.....
Σ. Παπαβασιλείου

Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Γ. Κουρουπέτρογλου

Καθηγητής ΕΚΠΑ

.....
Κωνσταντίνος, Η. Μπακογιάννης

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος, Η. Μπακογιάννης, 2020 .
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η εν λόγω διατριβή υπάγεται στην ευρύτερη θεματική της ακουστικής, μουσικής πληροφορικής και υπολογιστικής μουσικολογίας και αφορά τον προσδιορισμό των στοιχείων τα οποία προσδίδουν μουσικές ιδιότητες σε μία ηχητική οντότητα. Το μεθοδολογικό πλαίσιο βασίζεται στην έννοια της «πληροφορίας» ως φυσικό μέγεθος και διαμορφώνεται από την προσέγγιση της έννοιας αυτής από τη σύγχρονη επιστήμη και μηχανική (θερμοδυναμική, τηλεπικοινωνίες, κβαντομηχανική, βιολογία, θεωρητική φυσική, κυβερνητική και πληροφορική). Περιγράφεται η συσχέτιση της πληροφορίας με την ύλη και την ενέργεια και η οργάνωση δομών μέσω της πληροφοριακής ροής. Εισάγεται ο όρος «Οντοφορία» σε αντιδιαστολή με τον όρο «Πληροφορία» και προτείνεται η ύπαρξη ορίων ως οντολογική προϋπόθεση.

Παράλληλα, επιχειρείται η εφαρμογή των παραπάνω προσεγγίσεων στη μουσική, στην ηχοποίηση και στη μουσικολογία. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται η διαδικασία της οργάνωσης ηχητικών δομών μέσω της πληροφοριακής ροής, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο οι ηχητικές αυτές οργανώσεις νοηματοδοτούνται ως μουσική. Για την περιγραφή αυτή αξιοποιούνται τα πορίσματά μας σχετικά με την Επιστήμη και τη Φιλοσοφία της Πληροφορίας καθώς και αυτά της Γνωσιακής Μουσικολογίας, της Μουσικής Ακουστικής, της Ψυχοακουστικής, της Μουσικής Σημειολογίας και των Μουσικών Μιμίδων. Τέλος, προτείνεται η αξιοποίηση του μεγέθους της εντροπίας σε εφαρμογές της υπολογιστικής Αρχαιομουσικολογίας. Ειδικότερα, προτείνεται ένα μοντέλο το οποίο μέσω τεχνικών βελτιστοποίησης προσδιορίζει τη μουσική κλίμακα την οποία αναπαρήγαγε το υπό μελέτη αρχαίο ελληνικό μουσικό όργανο (εν προκειμένω ο Αυλός) αφότου συνυπολογισθεί η αλληλεπίδραση του μουσικού με αυτό.

Λέξεις κλειδιά

Γνωσιακή Μουσικολογία, Δεδομένα, Επικοινωνία, Επιστήμη της Πληροφορίας, Εντροπία, Μουσική Σημειολογία, Οντοφορία, Πληροφοριακή Οντολογία, Σημασιολογία, Υπολογιστική Μουσικολογία, Φιλοσοφία της Πληροφορίας

Abstract

This thesis belongs to the broader field of acoustics, music informatics and computational musicology. It describes the basic properties of organized sound to be perceived as music. The framework is established upon the concept of information considered as a physical quantity and is built by the approaches of modern science and engineering (thermodynamics, communications, quantum mechanics, biology, science, cybernetics and informatics). Information is related to matter and energy and it is explained its action as a causal agent which forms organized structures. The term “Itformation” (related to structural information) is introduced enabling its discrimination with the term “Information” (related to selective information). We describe our information-based ontology through the prerequisite of the existence of boundaries.

The above are applied in music, sonification and musicology. It is explained how information-flow triggers the process of organizing sound structures, as well as how these structures are semantically represented as music. For this, we link our approach departing from Science and Philosophy of Information with approaches departing from Cognitive Musicology, Musical Acoustics, Psychoacoustics, Music Semiology and Musical Memetics. We suggest the use of entropy in applications of computational archaeomusicology. We use optimization techniques to build a model which estimates the produced musical scale of the under-study ancient musical instrument (our case study is Aulos) after taking intonation into consideration.

Keywords

Cognitive Musicology, Communication, Computational Musicology, Data, Entropy, Information based Ontology, Information Philosophy, Information Science, Itformation, Music semiology, Semantics

Ευχαριστίες

Σε όλα τα στάδια του διδακτορικού καθοριστική ήταν η συνεισφορά συγκεκριμένων ανθρώπων, τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και ανθρώπινο επίπεδο. Οφείλω σε όλους ένα μεγάλο ευχαριστώ.

Θα ήθελα πρώτα από όλους να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διατριβής μου, τον κ. Γ. Καμπουράκη, για την επίβλεψή του, τη συνεργασία μας, τις τόσο εποικοδομητικές συζητήσεις μας και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Ο κ. Καμπουράκης δεν είναι απλώς ένας καθηγητής σε μία πολυτεχνική σχολή, αλλά ένας σπουδαίος ακαδημαϊκός δάσκαλος. Πολυσχιδής, πολύπλευρα καλλιεργημένος, με εγγενή αγάπη για τη γνώση και την επιστήμη, με βαθιές πολιτιστικές και κοινωνικές ανησυχίες. Τα χαρακτηριστικά αυτά κρατάω ως παρακαταθήκη για τη μελλοντική ακαδημαϊκή και επαγγελματική μου ζωή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην κ. Α. Γεωργάκη, καθηγήτριά μου στο Τμήμα Μουσικών Σπουδών (ΕΚΠΑ) και μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής της διατριβής αυτής. Στην πρώτη γραμμή της σύγχρονης πνευματικής δημιουργίας, δραστήρια και δημιουργική. Ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζει το υβρίδιο Τέχνη και Επιστήμη είναι για μένα έμπνευση και οδηγός. Στο ακαδημαϊκό και μουσικό προφίλ της είναι φανερός ο καλλιτέχνης μέσα στον επιστήμονα και ο επιστήμονας μέσα στον καλλιτέχνη. Η ισορροπία αυτή που η ίδια έχει πετύχει είναι για μένα το ζητούμενο στα επόμενά μου βήματα.

Ένας ακόμα ακαδημαϊκός δάσκαλος που θα ήθελα να ευχαριστήσω είναι ο κ. Γ. Κουρουπέτρογλου, καθηγητής στο τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΕΚΠΑ). Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την ακαδημαϊκή του καθοδήγηση, που με εμπιστεύτηκε να γίνω μέλος της ομάδας του και που μου έδωσε την ευκαιρία να εφαρμόσω στην πράξη θεωρητικές πτυχές της διατριβής μου. Η εμπλοκή μου στο έργο «Μνησίας» αποδεικνύεται μια πολύτιμη ακαδημαϊκή και εργασιακή εμπειρία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω και την κ. Χ. Αναγνωστοπούλου, καθηγήτρια στο Τμήμα Μουσικών Σπουδών (ΕΚΠΑ), μέσω της οποίας γνώρισα και μυήθηκα στα αντικείμενα της Μουσικής Πληροφορικής και Γνωσιακής Μουσικολογίας. Με όσα έμαθα από τα μαθήματα, τις διαλέξεις, τα σεμινάρια και τα κείμενά της διαμορφώθηκαν νέοι ορίζοντες οι οποίοι άνοιξαν νέα μονοπάτια στην έρευνά μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής μου επιτροπής (Γ. Καμπουράκη, Α. Γεωργάκη, Θ. Βαρβαρίγου) καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής εξέταση της διατριβής (Γ. Κουρουπέτρογλου, Α. Ανδρεοπούλου, Σ. Παπαβασιλείου, Κ. Πολιτόπουλο, Κ. Παπαοδυσσέα), για τη συνεργασία και την τιμή που μου έκαναν.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους συνεργάτες μου στο έργο «Μνησίας» και φίλους, Σπύρο Πολυχρονόπουλο και Δήμητρα Μαρίνη, για την όμορφη, δημιουργική και ευχάριστη εργασιακή καθημερινότητά μου. Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Σπύρο για την καθοδήγησή του, τη βοήθειά του και τη μετάδοση της φλόγας του για όσα το ακαδημαϊκό περιβάλλον πρεσβεύει.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δημήτρη Αργυρόπουλο, υποψήφιο διδάκτορα του κ. Καμπουράκη για τις κοινές μας εμπειρίες στα πλαίσια της συμμετοχής μας στο εργαστήριο «Ακουστικής, Επικοινωνίας και Τεχνολογίας ΜΜΕ».

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να αναφερθώ στη συνεισφορά των ανθρώπων του κοινωνικού μου περιγυρου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, στη μάνα μου Πηνελόπη και στον πατέρα μου Ηλία, για την ηθική, συναισθηματική και πρακτική τους υποστήριξη. Κυρίως όμως, για αυτή τη μεγάλη, διαρκή αγκαλιά που με συντροφεύει σε όλη μου τη ζωή. Τους ευχαριστώ που είναι δύο υπέροχοι γονείς και δύο καλοί φίλοι. Η ολοκλήρωση του διδακτορικού μου είναι ένα έμμεσο ευχαριστώ και μία μικρή ανταπόδοση των όσων μου έχουν προσφέρει.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην αδερφή μου, Δέσποινα. Φίλη, πρότυπο, πυξίδα, της οποίας την επιρροή συναντώ σε όλες της εκφάνσεις της ζωής μου. Κυρίως την ευχαριστώ για την ενεργητική, ουσιαστική και αδιάλειπτη άμεση και έμμεση παρουσία της στη ζωή μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου. Τον κολλητό φίλο και κουμπάρο Άρη και την παρέα μου, Γιάννη, Δημήτρη, Θάνο, Μάνο, Νικόλα, Χριστόφορο, τους συμπρωταγωνιστές της ζωής μου. Το αποτύπωμά τους πάνω μου, στην προσωπικότητα μου, τον τρόπο που σκέφτομαι και νιώθω, είναι βαρύ και πολύτιμο. Τα κοινά μας βιώματα δεν είναι απλώς η διαμόρφωση κοινών αναμνήσεων, αλλά κυρίως η διαμόρφωση ενός κοινού μονοπατιού, που θα διαβαίνω πλάι τους παντοτινά.

Άφησα τελευταίο ίσως το πιο ουσιαστικό ευχαριστώ, αυτό προς τον άνθρωπό μου, Μυρτώ. Την κοπέλα μου, συνοδοιπόρο, φίλη και οικογένεια. Την ευχαριστώ για την υπομονή της και που ήταν εκεί με ένα χαμόγελο και μία αγκαλιά να τα κάνει όλα πιο εύκολα και όμορφα. Κυρίως όμως την ευχαριστώ γιατί η συσχέτισή μας δεν είναι απλώς η συνάντηση δύο ανθρώπων αλλά η ζωή που χτίζουμε παρέα. Στα ταξίδια, τα σχέδια και τα όνειρά μας.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 1 Προς μία πληροφοριακή οντολογία.....	18
1.1 Η έννοια της πληροφορίας στη φυσική επιστήμη	18
1.2 Πληροφορία και Οργάνωση	41
1.3 Ύλη, Ενέργεια και Πληροφορία.....	46
1.4 «Οντοφορία» και Πληροφορία: μία αναγκαία διάκριση	55
Κεφάλαιο 2 Οντοφορική – Πληροφοριακή ερμηνεία της μουσικής.....	81
2.1 Η μουσική ως μελέτη περίπτωσης της πληροφοριακής οντολογίας	81
2.2 Μουσικά Πρότυπα (patterns) ως έκφραση της οντοφορίας	83
2.3 Μουσική Πληροφορία και Ανθρώπινος Εγκέφαλος	107
2.4 Προς μία πληροφοριακή (οντοφορική) ερμηνεία της μουσικής πραγματικότητας.....	113
Κεφάλαιο 3 Εφαρμογή της μουσικής οντοφορίας στην υπολογιστική αρχαιομουσικολογία	134
3.1 Υλικές και Πληροφοριακές διαστάσεις των μουσικών οργάνων και ο ρόλος του εκτελεστή	135
3.2 Entrotuner: Υπολογιστική μοντελοποίηση του προσδιορισμού του κουρδίσματος των μουσικών οργάνων	136
3.3 Μεθοδολογία	140
3.4 Ο Αυλός ως μελέτη περίπτωσης του Entrotuner	144
3.5 Αποτελέσματα και απόδοση του Entrotuner	152
Κύρια ευρήματα και μελλοντικές κατευθύνσεις.....	160
Extended Abstract	167
Αναφορές	189

Είναι γεγονός ότι στη σύγχρονη ιστορία της ανθρωπότητας έχει συντελεστεί μία τομή. Αυτή η τομή κατέστη δυνατή λόγω της πληροφοριακής επανάστασης η οποία παρατηρείται τόσο στην επιστήμη της πληροφορικής και των επικοινωνιών όσο και στους περισσότερους κλάδους των θετικών επιστημών (π.χ., φυσική, κοσμολογία και βιολογία). Κάθε επιστημονική επανάσταση επιφέρει έναν νέο στοχασμό στα βαθύτερα φιλοσοφικά και εννοιολογικά ζητήματα, κυρίως αναφορικά με την πρόσληψη της πραγματικότητας και τη σχέση της ανθρωπότητας με τον φυσικό κόσμο. Για παράδειγμα, το ηλιοκεντρικό μοντέλο του Κοπέρνικου ανέτρεψε την αντίληψη ότι η Γη είναι το κέντρο του σύμπαντος και η εξελικτική θεωρία του Δαρβίνου ότι το ζωικό βασίλειο έχει ως κέντρο τον άνθρωπο. Αυτές οι δύο επαναστάσεις επανακαθόρισαν την αντίληψη της ανθρωπότητας για το φυσικό περιβάλλον αλλά και τη συσχέτισή της μαζί του. Η παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάζει τις εννοιολογικές και φιλοσοφικές συνέπειες της εν εξελίξει πληροφοριακής επανάστασης και επιχειρεί να παρουσιάσει μια επιστημολογία της μουσικής πληροφορίας με εφαρμογή στη υπολογιστική μουσικολογία.

Η ιστορία της πληροφορίας, ως έννοια με την οποία αναμετρώνται οι φυσικές επιστήμες, ξεκινάει με τη θερμοδυναμική, η οποία εισάγει ένα νέο νοητικό δεδομένο: η γνώση της μακροκατάστασης ενός συστήματος δε συνεπάγεται τη γνώση της μικροκατάστασής του. Εισάγεται λοιπόν το στοιχείο της άγνοιας (εντροπία), έννοια άμεσα συσχετιζόμενη με αυτή της πληροφορίας. Λίγες δεκαετίες αργότερα η κβαντομηχανική υποστηρίζει ότι καταστατικά δεν μπορεί κανένας παρατηρητής, ούτε ακόμα ένας θεωρητικός – ιδανικός, να γνωρίζει με ακρίβεια τόσο τη θέση όσο και την ορμή ενός σωματιδίου, παρά μόνο την πιθανότητα να βρεθεί το σωματίδιο στη δεδομένη θέση με τη δεδομένη ορμή (αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg). Η άγνοια, και ως εκ τούτου η πληροφορία, άρχισαν να αποκτούν φυσική σημασία.

Το δεύτερο μισό του 20ου αι. χαρακτηρίζεται από την είσοδο των υπολογιστών και την ανάπτυξη της τηλεπικοινωνίας. Το 1948 ο Shannon ποσοτικοποίησε με αντικειμενικό και μαθηματικό τρόπο την πληροφορία την οποία φέρει ένα μήνυμα. [1] Τη συνάρτησή του την ονόμασε και αυτός εντροπία, εμπνεόμενος από τις μαθηματικές και νοητικές συνδέσεις που εντόπισε με τη θερμοδυναμική εντροπία του Boltzmann. Η επανάσταση της πληροφορικής είχε ξεκινήσει. Παράλληλα, η πληθώρα των επιστημονικών κλάδων αναδιαμορφώνουν το μεθοδολογικό τους πλαίσιο με τρόπο ο οποίος να συμπεριλαμβάνει τα πληροφοριακά φαινόμενα που απαντώνται, με πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τη βιολογία και το ρόλο του DNA ως «πληροφοριακό εγχειρίδιο» [2]. Οι γνωσιακές επιστήμες εξετάζουν τον τρόπο αποθήκευσης, επεξεργασίας και διαχείρισης της πληροφορίας στον ανθρώπινο εγκέφαλο [3]. Η κοσμολογία αναμετράται με το παράδοξο της απώλειας της πληροφορίας στις μαύρες τρύπες [4] ενώ η σύγχρονη μηχανική προσπαθεί να σχεδιάσει μηχανές οι οποίες να παράγουν ωφέλιμο έργο με καύσιμο την πληροφορία [5]. Πλέον, λοιπόν, η επιστήμη δεν πρέπει μόνο να ερμηνεύσει και να αξιοποιήσει την ύλη (18ος αι.) και την ενέργεια (19ος). Μια νέα οντότητα εμφανίστηκε, αυτή της «πληροφορίας». Ο Wiener μάλιστα αναφέρει ότι η πληροφορία δεν είναι ούτε ύλη, ούτε ενέργεια [6], ενώ ο Landauer ότι η πληροφορία είναι φυσική οντότητα η ίδια, πλάι στην ύλη και στην ενέργεια [7].

Μία σειρά από επιστήμονες, ειδικά προερχόμενους από τον χώρο του κβαντικού υπολογισμού (π.χ., [8], [9]) αναφέρουν ότι υπάρχει μία αντιστροφή στη διαδικασία ερμηνείας του κόσμου. Ενώ μέχρι πρότινος η επιστήμη μελετούσε την ύλη και την ενέργεια για να πάρει πληροφορίες για τα εκάστοτε συστήματα, σήμερα θεωρείται ότι η πληροφορία των συστημάτων δημιουργεί τις δομές της ύλης και της ενέργειας. Η αντίληψη η οποία συμπυκνώνεται στη διάσημη φράση του Wheeler «It from Bit». [10] Μία προσέγγιση η οποία λέει ότι κάθε οντότητα είναι παράγωγο της πληροφορίας. Η πληροφορία δεν είναι απλώς το αποτέλεσμα της γνωριμίας μας με το σύμπαν αλλά έχει αναγνωριστεί ως αυτό το οποίο ορίζει τη φυσική πραγματικότητα. [11] Ο Davies μάλιστα την αναγνωρίζει ως την οντολογική βάση (ontological basement) της πραγματικότητας. [12]

Η μετατόπιση την οποία έχει επιφέρει η σύγχρονη επιστήμη αναφορικά με τη σχέση της πληροφορίας με τη φυσική πραγματικότητα μπορεί να συσχετιστεί με τις εννοιολογικές και φιλοσοφικές μετατοπίσεις που έχει επιφέρει η επανάσταση στην επιστήμη της πληροφορικής, ειδικά μέσω της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης και αφορούν την έννοια και την υπόσταση της πραγματικότητας: 1) η πραγματικότητα δεν είναι μόνο υλικού αλλά και πληροφοριακού χαρακτήρα και 2) παράλληλα με το φυσικό υπάρχει και το πληροφοριακό περιβάλλον. [13] Το πρώτο οφείλεται στην αλλαγή του τεχνολογικού – παραγωγικού παραδείγματος που προέκυψε μέσω της ραγδαίας αξιοποίησης των υπολογιστών. Πλέον, η έννοια του αντικείμενου – προϊόντος δεν είναι αποκλειστικά υλικού χαρακτήρα, αλλά και πληροφοριακού (brand, avatar, domain name, εφαρμογές, software, βάσεις δεδομένων κ.λπ.). Οι οικονομίες στις προηγμένες χώρες δε στηρίζονται μόνο στη βιομηχανία και τα υλικά αγαθά. Αντιθέτως, το βάρος έχει μετατοπιστεί στις υπηρεσίες (π.χ., εκπαίδευση, επικοινωνίες, διοίκηση, υγεία) και τα άυλα αγαθά τα οποία είναι εγγενώς πληροφοριακού χαρακτήρα. Ένα εξαιρετικά αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι το χρήμα. Μέχρι πριν λίγες δεκαετίες το χρήμα είχε υποχρεωτικά υλικό χαρακτήρα (π.χ., κέρματα, χαρτονομίσματα), αργότερα εισήχθη το πλαστικό (πιστωτικές – χρεωστικές κάρτες), ενώ στις μέρες μας έχει αρθεί η προϋπόθεση της υλικότητάς του και οι συναλλαγές γίνονται μέσω ψηφιακού χρήματος (ηλεκτρονικές συναλλαγές, paypal, κρυπτονόμισμα κ.λπ.). Όσον αφορά το δεύτερο, οι άνθρωποι παλιότερα δραστηριοποιούνταν και εντάσσονταν αποκλειστικά σε ένα υλικό – φυσικό περιβάλλον. Στις μέρες ενυπάρχει παράλληλα και ένα πληροφοριακό περιβάλλον (π.χ. ιστοσελίδες, λίστες αλληλογραφίας, κοινωνικά δίκτυα, βάσεις δεδομένων, πλατφόρμες εικονικής πραγματικότητας, πολιτιστικές πλατφόρμες όπως Spotify¹ και Netflix², βιντεοπαιχνίδια, forum). Μάλιστα, ενώ μέχρι πρότινος οι διεπαφές του ανθρώπου με το πληροφοριακό περιβάλλον ήταν αποκλειστικά οι υπολογιστές, σήμερα, μια σειρά «έξυπνων» συσκευών (π.χ. τηλεοράσεις, τηλέφωνα, ψυγεία, κλιματιστικά, συναγερμοί κ.λπ.) είναι διασυνδεδεμένες μέσω του διαδικτύου μεταξύ τους (Internet of Things / Clouds) αποτελώντας και αυτές, με τη σειρά τους, διεπαφές προς το πληροφοριακό περιβάλλον.

Ανοίγει λοιπόν ο δρόμος για μία νέα οντολογική τοποθέτηση με όχημα τις σύγχρονες επιστημονικές προσεγγίσεις της έννοιας της πληροφορίας. Το γεγονός ότι υπάρχουν

¹ <https://www.spotify.com/>

² <https://www.netflix.com/>

εξαιρετικά πολλές προσεγγίσεις της έννοιας της πληροφορίας, απλώς αποδεικνύει την δυναμική η οποία αναπτύσσεται αναφορικά με αυτήν. Αυτός ο πλουραλισμός ενοποιείται κάτω από την ομπρέλα της «φιλοσοφίας της πληροφορίας», η οποία είναι «το φιλοσοφικό πεδίο το οποίο συνδέει: α) την κριτική εξερεύνηση της φύσης της έννοιας και των βασικών αρχών της πληροφορίας, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής, της αξιοποίησης και της επιστημονικότητάς της, και β) την επεξεργασία και την εφαρμογή των θεωρητικών και των υπολογιστικών μεθοδολογιών της πληροφορίας σε θέματα τα οποία άπτονται της φιλοσοφίας». [14] Η προσέγγιση αυτή αξιώνει να αποτελέσει κυριολεκτικά το θεμέλιο της ερμηνείας μιας σειράς φαινομένων και όχι απλώς μία μεταφορική υπερδομή. Αντίστοιχα, επιχειρείται μία ενοποιητική θεωρία της πληροφορίας [15], της οποίας το δομικό, ιεραρχικό και διαλεκτικό πλαίσιο, θα μπορεί να παρέχει τα επιστημονικά μέσα μέσω των οποίων θα ερμηνευτούν μία σειρά από κοινωνικά, τεχνολογικά και φυσικά φαινόμενα. [16] Ένα από αυτά τα φαινόμενα είναι και η μουσική.

Στο πεδίο της σύνδεσης της πληροφορίας με τη μουσική, εμβληματική ήταν η εργασία του A. Moles όπως αποτυπώθηκε στο βιβλίο «Θεωρία της Πληροφορίας και Αισθητική Αντίληψη». [17] Η Θεωρία της Πληροφορίας του Shannon προσέγγιζε την πληροφορία ως το μέτρο της πολυπλοκότητας ενός μηνύματος (δηλαδή, την εντροπία του μηνύματος) [1]. Ο Moles επιχείρησε τη συστηματική εφαρμογή της προσέγγισης αυτής στις τέχνες, και ιδιαίτερα στη μουσική. Πρότεινε μία πληροφοριακή αισθητική η οποία βασίζεται σε μετρήσιμες πληροφορίες οι οποίες ενυπάρχουν στη μορφή ενός έργου. Αναλύοντας δομικά την αισθητική αντίληψη, ο Moles παρουσίασε μία εφαρμογή της Μαθηματικής Θεωρίας της Επικοινωνίας του Shannon στην κατανόηση της αισθητικής εμπειρίας.

Ο L. Meyer συσχετίζει την αισθητική αντίληψη με το εντροπικό περιεχόμενο του μουσικού έργου. [18] Μέσω της διαδικασίας της ακρόασης ο εγκέφαλος κάθε ανθρώπου έχει εκπαιδευτεί στην ανάπτυξη μηχανισμών πρόβλεψης της εξέλιξης της μουσικής πλοκής. Τα συναισθήματα που γεννά η ακρόαση συνδέονται με την επιβεβαίωση ή όχι της πρόβλεψης αυτής. Η «προσδοκιμότητα» ως το όχημα της γέννησης συναισθημάτων κατά τη μουσική ακρόαση επιβεβαιώνεται από τις σύγχρονες μελέτες του εγκεφάλου (π.χ. [19], [20]).

Μια μουσική δομή (τόσο στο πεδίο των ήχων όσο και των συμβόλων – παρτιτούρα) εμπεριέχει πληροφορίες οι οποίες αποτελούν τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της. Η ανάκτηση μουσικής πληροφορίας (Music Information Retrieval – MIR) είναι ένας εξελισσόμενος διαθεματικός κλάδος ο οποίος δομείται πάνω στην ψηφιακή επεξεργασία σήματος, στη μηχανική μάθηση, στην ψυχοακουστική, στη μουσικολογία κ.α. Μερικές από τις εφαρμογές του MIR είναι η εύρεση ενός συγκεκριμένου κομματιού σε μία μεγάλη συλλογή (π.χ. Shazam³), η πρόταση παρεμφερών κομματιών τα οποία πληρούν κάποια συγκεκριμένα κριτήρια ομοιότητας, η αυτοματοποιημένη δημιουργία playlist, η κατηγοριοποίηση κ.α. [21]

Οι παραπάνω προσεγγίσεις οι οποίες συνδέουν την έννοια της πληροφορίας με τη μουσική έχουν ανοίξει ποικίλα μονοπάτια στη μελέτη του φαινομένου με πολλαπλές, θεωρητικές και πρακτικές, εφαρμογές. Παρόλ' αυτά, παραμένει ανοιχτή η ανάγκη της

³ <https://www.shazam.com/>

διατύπωσης μιας συγκροτημένης και συστηματικής επιστημολογίας της μουσικής πληροφορίας, ειδικότερα, αναφορικά με τη συμπερίληψη των νέων προσεγγίσεων της φιλοσοφίας και επιστήμης της πληροφορίας, όπως αυτή έχει προκύψει από την αλματώδη εξέλιξη στο χώρο των θετικών επιστημών και της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης. Σε αυτό το πλαίσιο συγκροτείται η παρούσα διατριβή, στόχος της οποίας είναι η συγκρότηση μιας πρωτότυπης οντολογίας βασισμένη στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος με εφαρμογές στη μουσικολογία και μουσική πληροφορική. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός διερευνώνται τα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα:

- 1) Ποια κοινά πορίσματα μπορούν εξαχθούν από τη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών διαδρομών προσέγγισης της έννοιας της πληροφορίας από τις φυσικές επιστήμες (π.χ., Θερμοδυναμική, Τηλεπικοινωνίες, Κβαντομηχανική, Βιολογία, Θεωρητική φυσική, Κυβερνητική, Πληροφορική);
- 2) Ποια η σχέση της πληροφορίας με τη φυσική πραγματικότητα;
- 3) Δύναται, μέσω των απαντήσεων στα ερωτήματα 1 και 2, να συγκροτηθεί μια οντολογία βασισμένη στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος, η οποία να εξετάζει το υλικό, ενεργειακό και πληροφοριακό περιεχόμενο των οντοτήτων;
- 4) Με ποιο τρόπο η μουσική μπορεί να αποτελέσει μελέτη περίπτωσης (case study) μίας πληροφοριακής οντολογίας;
- 5) Η μεθοδολογική αντίστροφη (από το bit from it – η πληροφορία ως το αποτέλεσμα της παρατήρησης μιας οντότητας – , στο it from bit – η οντότητα ως παράγωγο της πληροφορίας) την οποία προτείνει η σύγχρονη επιστήμη πώς παρατηρείται στα παράγωγα του μουσικού πολιτισμού;
- 6) Ποια η σχέση ύλης και πληροφορίας στα μουσικά όργανα; Μπορεί η εντροπία να αποτελέσει ένα μαθηματικό εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών της υπολογιστικής μουσικολογίας;

Η διατριβή αυτή χωρίζεται σε τρία βασικά κεφάλαια. Το πρώτο, με τίτλο «Προς μία πληροφοριακή οντολογία.» απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα 1 έως 3. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε μία πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία, βασισμένη στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος. Παρουσιάζουμε μία συγκριτική μελέτη των διαφορετικών προσεγγίσεων των φυσικών επιστημών αναφορικά με την έννοια της πληροφορίας και τη σχέση της με το μέγεθος της εντροπίας. Παράλληλα, εξετάζουμε τη σχέση της πληροφορίας με τα δομικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και τον τρόπο με τον οποίο η ροή πληροφορίας επιβάλει οργανώσεις. Τέλος, εξετάζεται η υλική, ενεργειακή και πληροφοριακή υπόσταση της πραγματικότητας.

Το δεύτερο κεφάλαιο, με τίτλο «Οντοφορική – Πληροφοριακή ερμηνεία της μουσικής.», απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα 4 και 5. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε την εφαρμογή της πληροφοριακής οντολογίας (όπως διατυπώθηκε στο Κεφάλαιο 1) στη μουσική. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η διάκριση μεταξύ της μουσικής πληροφορίας (η πληροφορία ως το αποτέλεσμα της παρατήρησης) και της μουσικής οντοφορίας (οι μουσικές οντότητες ως παράγωγα της πληροφορίας).

Το τρίτο κεφάλαιο, με τίτλο «Εφαρμογή της μουσικής οντοφορίας στην υπολογιστική αρχαιομουσικολογία.», απαντά στο ερευνητικό ερώτημα 6. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τους βασικούς πυλώνες της μουσικής πράξης (μουσικό σύστημα, μουσικό όργανο και εκτελεστής) ως μηχανισμούς διατήρησης της εντροπίας σε

ελεγχόμενα επίπεδα. Προτείνουμε την μοντελοποίηση ενός ιδανικού χρήστη, με χρήση του μεγέθους της εντροπίας και παρουσιάζουμε τον Entrotuner (όπως δημοσιεύτηκε στο περιοδικό IEEE Access [22]), ο οποίος είναι μία υπολογιστική μέθοδος, βασισμένη σε μοντέλα μαθηματικής βελτιστοποίησης (mathematical optimization) και έχει ως στόχο τον ακριβέστερο προσδιορισμό του παραγόμενου τονικού ύψους ενός οργάνου.

Κεφάλαιο 1 Προς μία πληροφοριακή οντολογία

Η πληροφορία είναι μία συνήθης έννοια της καθομιλουμένης. Πέρα από αυτό όμως, είναι ένα αυτόνομο φυσικό μέγεθος το οποίο έχει θεμελιακό χαρακτήρα αναφορικά με τη φύση της πραγματικότητας. Βάσει της παραδοχής αυτής, πρέπει κανείς, πέρα από το υλικό και ενεργειακό περιεχόμενο των οντοτήτων, να εξετάζει και το πληροφοριακό. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαία η περιγραφή μίας οντολογίας βασισμένης στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος. Στην ενότητα αυτή περιγράφουμε μία τέτοια πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία. Η μεθοδολογία προς τη διατύπωσή της περιλαμβάνει αρχικά την περιγραφή των διαφορετικών προσεγγίσεων των φυσικών επιστημών αναφορικά με την έννοια της πληροφορίας και τη σχέση της με το μέγεθος της εντροπίας (υποενότητα 1.1). Στόχος δεν είναι απλώς μία βιβλιογραφική περιγραφή, αλλά μία πρωτότυπη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών αυτών προσεγγίσεων, ώστε να εξεταστεί ποια κοινά συμπεράσματα εν είδη πορισμάτων απορρέουν, μέσω των οποίων θα συγκροτηθεί η πληροφοριακή μας οντολογία (ερευνητικό ερώτημα 1, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Παράλληλα, θα εξεταστεί η σχέση της πληροφορίας με τα δομικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και ο τρόπος με τον οποίο η ροή πληροφορίας επιβάλλει οργανώσεις (υποενότητα 1.2). Αυτό το στοιχείο είναι πολύ σημαντικό γιατί εισάγει μία νέα εννοιολογική τοποθέτηση αναφορικά με την έννοια της πληροφορίας: η πληροφορία δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα της παρατήρησης και η περιγραφή των ιδιοτήτων ενός συστήματος, αλλά και η οργανωτική αρχή των συστημάτων. Στην υποενότητα 1.3 θα παρουσιάσουμε το τι συνεπάγεται η μετατόπιση αυτή στη φύση της πραγματικότητας. Πιο συγκεκριμένα, θα εξετάσουμε την υλική, ενεργειακή και πληροφοριακή υπόσταση της πραγματικότητας και θα αναδείξουμε το γιατί η πληροφορία είναι ένα θεμελιακό μέγεθος μέσω του οποίου ξεδιπλώνεται η πραγματικότητα (ερευνητικό ερώτημα 2, βλ.ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Έχοντας απαντήσει στα παραπάνω θα περιγράψουμε στην υποενότητα 1.4 μία πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία (ερευνητικό ερώτημα 3, βλ.ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Η οντολογία αυτή στηρίζεται στο ότι οι οντότητες προκύπτουν ως παράγωγα της πληροφορίας. Για το λόγο αυτό, εισάγεται ο όρος «οντοφορία» (itformation) σε αντιδιαστολή με την πληροφορία (information), η οποία συνδέεται με το αποτέλεσμα της παρατήρησης των οντοτήτων. Θα εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο ενυπάρχει η πληροφορία - οντοφορία σε μία οντότητα και αλληλοεπίδρασή της τόσο με το ενεργειακό όσο και με το υλικό της περιεχόμενο.

1.1 Η έννοια της πληροφορίας στη φυσική επιστήμη

Η υποενότητα αυτή περιλαμβάνει την περιγραφή των διαφορετικών προσεγγίσεων των φυσικών επιστημών αναφορικά με την έννοια της πληροφορίας και τη σχέση της με το μέγεθος της εντροπίας. Στόχος δεν είναι απλώς μία βιβλιογραφική περιγραφή, αλλά μία πρωτότυπη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών αυτών προσεγγίσεων, ώστε να εξεταστεί ποια κοινά συμπεράσματα εν είδη πορισμάτων απορρέουν, μέσω των οποίων θα συγκροτηθεί η πληροφοριακή μας οντολογία (ερευνητικό ερώτημα 1, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ).

1.1.1 Κλασική φυσική και ντετερμινισμός: «η παρούσα κατάσταση του Σύμπαντος ως αποτέλεσμα του παρελθόντος του και ως αιτία του μέλλοντός του»

Η πληροφορία ως έννοια της σύγχρονης φυσικής άρχισε να θεμελιώνεται με την αμφισβήτηση του ντετερμινισμού. Στην Νευτώνεια κλασική φυσική αν κάποιος γνωρίζει την κατάσταση ενός συστήματος (τη μάζα, τη θέση, το διάνυσμα της ταχύτητας και τις δυνάμεις που επενεργούν στα διάφορα αντικείμενα του συστήματος), τις λεγόμενες αρχικές συνθήκες, μπορεί με ακρίβεια να προβλέψει την επόμενη κατάσταση του συστήματος. Γνωρίζοντας τις εξισώσεις κίνησης στη θέση της μεταβλητής του χρόνου μπορεί να μπει οποιαδήποτε παροντική ($t = 0$), μελλοντική ($t > 0$) ή παρελθοντική στιγμή ($t < 0$). Ο ντετερμινιστικός τους χαρακτήρας σημαίνει ότι γνωρίζοντας το παρελθόν μπορούμε να προβλέψουμε το μέλλον. Με βάση το παραπάνω προκύπτει ότι στην κλασική φυσική – τη φυσική δηλαδή από τη μηχανική του 17ου αι. μ.Χ. του Γαλιλαίου και του Νεύτωνα, μέχρι τη φυσική του 19ου αι. μ.Χ. της ηλεκτροδυναμικής του Faraday και Maxwell – υπάρχει ένας παρατηρητής ο οποίος μπορεί να έχει την απόλυτη γνώση για την περιγραφή ενός συστήματος, ικανός να προβλέψει την μελλοντική εξέλιξή του. Η πρόσληψη του παρατηρητή συνάδει με την πραγματικότητα (reality). Υπ’ αυτή την έννοια, η βαθιά ντετερμινιστική φύση της κλασικής φυσικής, στην οποία ο βαθμός άγνοιας είναι μηδενικός (με την προϋπόθεση τη γνώση των αρχικών συνθηκών του συστήματος), η έννοια της πληροφορίας είναι δευτερευούσης σημασίας, αφού ο παράγοντας παρατήρησης έχει απόλυτη γνώση / πληροφορία.

Αυτή η πλήρως εξιδανικευμένη θεώρηση ενός απόλυτα ικανού παρατηρητή να περιγράψει με ακρίβεια και να προβλέψει τα πάντα θεμελίωσε βαθιά την αντίληψη για την πραγματικότητα την οποία είχε η ανθρωπότητα για πάνω από δύο αιώνες. Οποιαδήποτε αδυναμία απόλυτα ικανής περιγραφής αποδίδονταν στην ανικανότητα του ανθρώπου να λειτουργήσει σαν υπερ-εξιδανικευμένος παρατηρητής. Η ιδέα όμως της εν δυνάμει ικανότητας για απόλυτη γνώση ήταν αδιαπραγμάτευτη.

Η κλασική φυσική (η οποία περιλαμβάνει την νευτώνεια φυσική και την προσέγγιση του Maxwell στον ηλεκτρομαγνητισμό) θεωρεί τα πάντα στο σύμπαν σαν «μηχανές» των οποίων τα συστατικά και η λειτουργία μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια και των οποίων η εξέλιξη στο χρόνο υποδηλώνεται από αντιστοίχως ακριβείς νόμους, με καθολική, συμπαντική ισχύ. Ένα άλλο στοιχείο, πέρα από την ύπαρξη ενός παρατηρητή ικανού να πετύχει απόλυτη γνώση, είναι ότι η διαδικασία της παρατήρησης δεν επηρεάζει καθόλου το παρατηρούμενο σύστημα. Είναι μία εξωτερική διαδικασία η οποία δεν αλληλοεπιδρά με το σύστημα, αφήνοντάς το να διαγράψει την προκαθορισμένη από τους νόμους του πορεία, αναλλοίωτο από την παρουσία του παρατηρητή και την διαδικασία της παρατήρησης.

Αναφορικά με την έννοια του φυσικού συστήματος, αυτό μπορεί να είναι ολόκληρο το σύμπαν ή οτιδήποτε υπάρχει μέσα σε αυτό. Στην κλασική φυσική, αν ένα σύστημα αποτελείται από επιμέρους υπο-συστήματα, τότε η κατάσταση του συστήματος καθορίζεται από τις καταστάσεις των υπο-συστημάτων. Με άλλα λόγια, αν κάποιος επιθυμεί να περιγράψει ένα σύστημα αρκεί να περιγράψει τα υπο-συστήματα που το απαρτίζουν. Οι τιμές τις οποίες μπορούν να πάρουν οι παράμετροι ενός συστήματος είναι συνεχείς και αποτυπώνονται γραφικά με συνεχείς γραμμές. Όσα αναφέρει η παράγραφος

αυτή, αλλά και στοιχεία από τις προηγούμενες, ενδέχεται να φαίνονται στον αναγνώστη προφανή. Αυτό είναι λογικό, καθότι η κλασική φυσική περιγράφει εξαιρετικά ικανοποιητικά τον τρόπο με τον οποίο έχουμε μάθει να προσλαμβάνουμε τον φυσικό κόσμο. Η πραγματικότητα της κλασικής φυσικής είναι πολύ κοντινή με την πραγματικότητα όπως την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Όπως θα δούμε όμως αργότερα, αυτά τα τόσο φαινομενικά προφανή δεν ισχύουν, ειδικά στις περιπτώσεις όπου τα προς περιγραφή μεγέθη είναι εξαιρετικά πολύ μικρότερα (δηλαδή σε όσα μελετά η κβαντομηχανική). Η κβαντομηχανική λοιπόν έθεσε ένα νέα νοητικό, φιλοσοφικό και μεθοδολογικό πλαίσιο ερμηνείας της «πραγματικότητας». Ανάμεσα όμως από τους κόσμους της κλασικής φυσικής και της κβαντομηχανικής υπάρχει μία πολύ σημαντική γέφυρα, η οποία έκανε πιο ομαλή την αποχώρηση από το παλιό και την εισαγωγή του καινούριου. Ένας επιστημονικός κλάδος ο οποίος έθεσε τις αναγκαίες αμφισβητήσεις πάνω στις οποίες θεμελιώθηκε η σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση.⁴ Πρόκειται για την θερμοδυναμική.

1.1.2 Θερμοδυναμική: η πληροφορία κρύβεται στις κρυψώνες της εντροπίας

Η θερμοδυναμική είναι ο κλάδος ο οποίος μελετά τη ροή της θερμότητας (θερμικής ενέργειας) ανάμεσα στα φυσικά συστήματα με σκοπό την παραγωγή μηχανικής ενέργειας / έργου. Αν και έχει βαθύτερες ρίζες, αναπτύχθηκε τον 19ο αι. μ.Χ. παράλληλα με τη βιομηχανική επανάσταση, η οποία κατέστη εφικτή χάρη στα επιτεύγματα της μηχανικής και στην αξιοποίηση του ατμού για την παραγωγή κινητικής ενέργειας. Στη θερμοδυναμική, τα φυσικά συστήματα περιγράφονται από παραμέτρους «μεγάλης κλίμακας» όπως ο όγκος, η θερμοκρασία και η πίεση. Ολόκληρος ο κλάδος θεμελιώνεται πάνω σε τρεις νόμους, οι οποίοι ορίζουν τη θερμοκρασία (νόμος μηδέν), περιγράφουν την αρχή διατήρησης της ενέργειας (πρώτος νόμος) καθώς και τη διαδικασία μεταφοράς θερμικής ενέργειας μεταξύ σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας (δεύτερος νόμος).

Η θερμοδυναμική αξιοποίησε τα εργαλεία της στατιστικής μηχανικής καθώς και τους τρόπους περιγραφής της μικροκατάστασης ενός συστήματος της κλασικής φυσικής. Έτσι, κατάφερε να βρει μία φυσική και μαθηματική σύνδεση μεταξύ των μικροκαταστάσεων ενός συστήματος και της μακροκατάστασής του. Έννοια κλειδί ήταν αυτή της εντροπίας. Η εντροπία παρουσιάζει των αριθμό των πιθανών μικροκαταστάσεων στις οποίες μπορεί να επέλθει ένα σύστημα δεδομένης της θερμοδυναμικής μακροκατάστασής του. Με άλλα λόγια, περιγράφει την κρυμμένη πληροφορία η οποία κρύβεται στην μικροκατάσταση ενός συστήματος όταν ένας παράγοντας γνωρίζει μόνο την μακροκατάστασή του. Αυτό συνιστά μία σπουδαία στιγμή στην ιστορία της φιλοσοφίας της επιστήμης, καθότι αναγνωρίζεται το γεγονός ότι ένα σύστημα μπορεί να κρύβει πληροφορίες από τον παρατηρητή του. Αυτός ο συλλογισμός έθεσε τα πρώτα σοβαρά ερωτηματικά για το αν δύναται να υπάρχει ένας παρατηρητής με

⁴ «Κλασική φυσική», «θερμοδυναμική», «κβαντομηχανική» δεν είναι παρά επιστημονικοί κλάδοι οι οποίοι κλήθηκαν να απαντήσουν στα ερωτήματα τα οποία γεννήθηκαν με βάση τις ανάγκες, τα νοητικά εργαλεία, το υπόβαθρο και τις προοπτικές της επιστήμης, της τεχνολογίας και του πολιτισμού της εποχής τους. Δεν αποτελούν σε καμία περίπτωση αντιπαραθετικά ιδεολογικά στρατόπεδα. Άλλωστε, ευδοκίμησαν σε άλλες εποχές, αν και μελετώνται αυτοτελώς ακόμα και σήμερα, ακριβώς για το λόγο ότι αποτελούν οχήματα για την απάντηση σε διαφορετικά προβλήματα.

ένα «θεϊκό μάτι» ο οποίος είναι ικανός να γνωρίζει με ακρίβεια την κατάσταση ενός συστήματος. Μιας και η άγνοια συνδέεται με την πληροφορία, η περιγραφή των εντροπικών διαδικασιών είναι η απαρχή της πληροφοριακής ματιάς της φυσικής.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθούμε εκτενέστερα στον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο και στην έννοια της εντροπίας. Ας φανταστούμε ένα γυάλινο ποτήρι το οποίο πέφτει και σπάει, γίνεται «χίλια κομμάτια». Αν μαζέψουμε μετά τα γυάλινα θραύσματα πόσες πιθανότητες υπάρχουν για να συνδυαστούν ώστε να δημιουργηθεί πάλι ένα ποτήρι; Φανταζόμαστε ότι ο ανασυνδυασμός των τμημάτων αυτών κατά πολύ μεγάλη πιθανότητα θα απέχει παρασάγγας από το να καταλήξει σε ποτήρι. Οι διατάξεις οι οποίες μπορούν να προκύψουν από τα θραύσματα είναι πάρα πολλές και σαφώς οι περισσότερες δε θυμίζουν επ' ουδενί «ποτήρι». Στη συνέχεια, ας φανταστούμε τις 88 νότες ενός πιάνου και μία μηχανή η οποία είναι προγραμματισμένη να παίζει τυχαία μία νότα κάθε φορά, με όποια συχνότητα (ρυθμό) και ένταση (δυναμική) επιθυμεί. Το αποτέλεσμα, εκτός απείρως συγκλονιστικού απροόπτου, θα είναι κάτι σαν θόρυβος, μία αυθαίρετη διαδοχή από ήχους. Με πολύ αφαιρετικό τρόπο ενδέχεται να θυμίζει κάτι σαν μουσική, ενώ είναι ιδιαίτερα απίθανο η μουσική αυτή να θυμίζει μία κλασική μελωδία. Είναι ακόμα περισσότερο απίθανο η μελωδία αυτή να προσιδιάζει στον Μπετόβεν. Οι διατάξεις που οδηγούν σε θόρυβο είναι πολύ περισσότερες από τις διατάξεις που οδηγούν σε μουσική. Αντίστοιχα, παίρνοντας με κλειστά μάτια γράμματα από το επιτραπέζιο παιχνίδι scramble είναι πολύ πιο πιθανό να προκύψει κάτι το τυχαίο παρά μία υπαρκτή λέξη του ελληνικού λεξιλογίου. Πλησιάζουμε πολύ κοντά στην έννοια της εντροπίας. Η εντροπία πρακτικά είναι εκείνο το μέγεθος το οποίο μας ενημερώνει για τον αριθμό των πιθανών διατάξεων.

Μέχρι τώρα, έχουμε μιλήσει για διατάξεις γυάλινων θραυσμάτων, 88 νοτών, 24 γραμμάτων της αλφαβήτου. Κάθε μία από αυτές τις μονάδες όμως είναι από μόνη της φορέας μεγάλης πληροφορίας. Η μη περεταίρω αναγώγιμη μονάδα πληροφορίας είναι το bit, μία δυαδική δηλαδή κατάσταση (μηδέν / ένα, ναι / όχι, πάνω / κάτω, κορώνα / γράμματα, τελεία / παύλα). Η εντροπία, ως ένδειξη του αριθμού των καταστάσεων ενός συστήματος, συνδέεται με αυτή τη δυαδική διάκριση, γιατί είναι το τελικό στάδιο αναγωγής, το τελευταίο πληροφοριακό «ξεδίπλωμα» στην αποδόμηση μιας κατάστασης. Δεν απέχει πολύ η σύλληψη του παιχνιδιού με τις 20 ερωτήσεις με την περιγραφή ενός φυσικού συστήματος. Στο παιχνίδι αυτό, η «μάννα», ένας από όλους τους παίκτες, βάζει στο μυαλό του ένα πρόσωπο. Έπειτα, οι υπόλοιποι παίκτες απευθύνουν ερωτήσεις προς τη «μάννα» οι οποίες επιδέχονται απάντησης μόνο ναι / όχι. Οι ερωτήσεις είναι τύπου: είναι άντρας; εν ζωή; Έλληνας; Ψηλός; δημόσιο πρόσωπο; κ.λπ.. Οι παίκτες πρέπει μέσα σε 20 ερωτήσεις να βρουν το πρόσωπο το οποίο έβαλε στο μυαλό της η «μάννα». Έτσι λοιπόν, το σύστημα «άνθρωπος» μπορεί να αποδομηθεί σε δυαδικές περιγραφές. Φανταστείτε ένα διάνυσμα του οποίου κάθε θέση είναι το αποτέλεσμα μίας απάντησης ναι / όχι. Έτσι λοιπόν, προκύπτει ένα διάνυσμα με τιμές 0 ή 1 σε κάθε του θέση το οποίο μπορεί να ταυτοποιήσει το σύστημα στο οποίο αναφέρεται. Μπορεί να το περιγράψει, να αποτελέσει δηλαδή την πληροφοριακή του εικόνα. Η εντροπία λοιπόν συνδέεται στενά με το πόσες θέσεις έχει αυτό το διάνυσμα, ώστε να μπορεί να προκύψει ο αριθμός των πιθανών καταστάσεων.

Ο μαθηματικός ορισμός της εντροπίας έχει δοθεί από τον Boltzmann ως εξής:

$$S = k_B \ln W \quad (1-1)$$

όπου k_B η σταθερά Boltzmann (ίση με 1.38065×10^{-23} J/K), \ln η πράξη του νεπέριου λογαρίθμου και W ο αριθμός των μικροκαταστάσεων ενός συστήματος (στο παράδειγμα με τις τρεις ρίψεις κέρματος ήταν 8).

Εντροπία είναι λοιπόν το μέτρο του αριθμού των διατάξεων οι οποίες ικανοποιούν κάποιο συγκεκριμένο αναγνώσιμο κριτήριο. Όταν μία γραμμή παραγωγής σε ένα εργοστάσιο βγάζει προϊόντα με απόλυτο ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των προϊόντων, τότε είναι αδύνατο να μπορέσουμε να διακρίνουμε διαφοροποιήσιμα στοιχεία που να κάνουν κάθε τεμάχιο να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα. Στην περίπτωση αυτή η εντροπία είναι μηδενική (η μακροκατάσταση συνδέεται με μία και μόνο μικροκατάσταση). Όταν αναφερόμαστε σε μία μόνο διάταξη δεν έχουμε εντροπία. Το παράδειγμα με τη δεξαμενή με νερό είναι επίσης αντιπροσωπευτικό. Στη δεξαμενή αυτή μπορούμε εύκολα να προσδιορίσουμε, ακόμα και με πολύ μεγάλη ακρίβεια, τη μακροκατάστασή της (τη θερμοκρασία και τον όγκο της). Όμως, είναι εξαιρετικά δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να προσδιορίσουμε επακριβώς τις μικροκαταστάσεις, τις ακριβείς κινήσεις κάθε μορίου (θέση και ταχύτητα), στις οποίες αντιστοιχεί η συγκεκριμένη μακροκατάσταση. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται εντροπία. Αν αρχίσουμε και ψύχουμε το νερό της δεξαμενής, τότε η κίνηση των μορίων γίνεται όλο και πιο αργή άρα εντοπίζονται πιο εύκολα (ο αριθμός των μικροκαταστάσεων μικραίνει). Η εντροπία γίνεται μικρότερη. Αν καταφέρουμε και ψύξουμε το νερό σε θερμοκρασία απολύτου μηδενός (-273 βαθμοί Κελσίου ή αλλιώς 0 βαθμοί Κέλβιν), τότε θεωρητικά τα μόρια είναι απολύτως ακίνητα (μία και μοναδική μικροκατάσταση). Αν οι γνώσεις μας για την κρυσταλλική δομή του πάγου επαρκούν τότε μπορούμε με ακρίβεια να εντοπίσουμε τα μόρια. Η άγνοια μας είναι μηδενική, δεν υπάρχει καμία πληροφορία που να μην γνωρίζουμε. Η εντροπία είναι ως εκ τούτου μηδενική και αυτή. Η εντροπία είναι λοιπόν η χαμένη πληροφορία η οποία κρύβεται στις λεπτομέρειες της μικροκατάστασης και δεν μπορεί να προκύψει από τη μελέτη της μακροκατάστασης. Αυτή είναι η σχέση της πληροφορίας με την εντροπία.⁵

Ας δούμε τώρα ποια είναι η σχέση της εντροπίας με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Σε απομονωμένα συστήματα, σε συστήματα δηλαδή τα οποία δεν επικοινωνούν με άλλα (επικοινωνία εν προκειμένω σημαίνει ανταλλαγή ύλης ή/και ενέργειας), τότε παρατηρείται κάτι αξιοσημείωτο: τείνουν πάντα προς την αποδιοργάνωση και την αταξία. Αν κλειδώσουμε το σπίτι μας, πόρτες και παράθυρα, και επιστρέψουμε μετά από χρόνια τότε θα παρατηρήσουμε ότι θα είναι πιο ακατάστατο από ότι το αφήσαμε. Αντίστοιχα, αν ρίξουμε μία σταγόνα μελάνι σε ένα ποτήρι με νερό τότε στην αρχή η σταγόνα είναι συγκεντρωμένη σε ένα συγκεκριμένο μέρος του ποτηριού. Μπορώ με σχετική ακρίβεια να προσδιορίσω που είναι το μελάνι σε σχέση με το νερό. Η πληροφορία που έχω είναι μεγάλη, η εντροπία επομένως μικρή. Καθώς το μελάνι αρχίζει και ανακατεύεται με το νερό, τότε σταδιακά γίνεται όλο και πιο δύσκολο να περιγράψει κανείς τη θέση τους, η πληροφορία αρχίζει και κρύβεται, επομένως η εντροπία αυξάνεται. Όταν το διάλυμα ομογενοποιηθεί, τότε η εντροπία παίρνει τη μέγιστη τιμή

⁵ Μάλιστα, στη θερμοδυναμική, πολλοί θεωρούν την πληροφορία ως το αρνητικό της εντροπίας, υιοθετώντας τον όρο «negentropy» (negative entropy). [235]

της. Η ουσία, επομένως, του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου είναι ότι καθώς προχωράει ο χρόνος η εντροπία δεν μπορεί να μειωθεί (η πληροφορία τείνει να χαθεί).⁶

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η εντροπία δε συνδέεται με την ενέργεια γενικά, αλλά με τη θερμότητα συγκεκριμένα. Στο παράδειγμα με τη δεξαμενή με το νερό, όσο περισσότερο θερμαίνουμε το νερό, προσφέροντας θερμότητα, τόσο μεγαλώνει η ασάφεια αναφορικά με την περιγραφή των μορίων του νερού (αύξηση εντροπίας). Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, εκτός από την αύξηση της άγνοιας, έχει ένα επιπλέον σπουδαίο συνεπαγόμενο. Η εντροπία πάντα αυξάνεται, αλλά και η ενέργεια πάντα υποβαθμίζεται. Αυτό εκφράζει και ο εναλλακτικός τύπος για την εντροπία, όπως τον παρουσίασε ο Clausius το 1864

$$dS = dQ/T \quad (1-2)$$

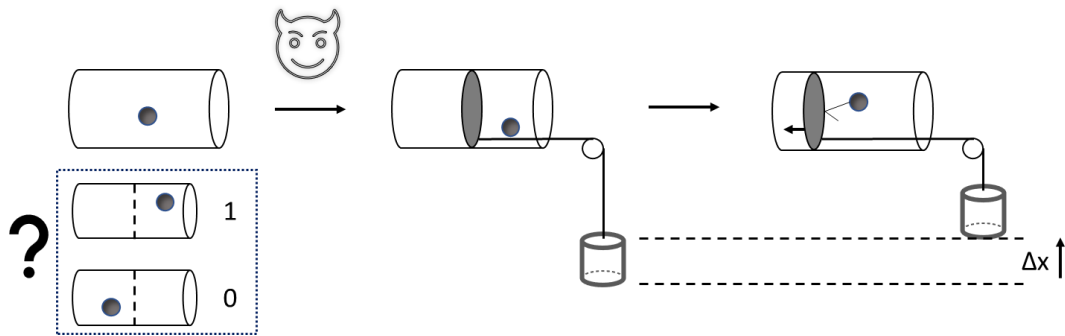
Για να περιγράψουμε με μεγαλύτερη σαφήνεια την προσέγγιση της θερμοδυναμικής αναφορικά με την εντροπία, την πληροφορία και την ενέργεια θα αναφερθούμε στο διάσημο νοητικό πείραμα του Maxwell. Φανταστείτε μία δεξαμενή γεμάτη αέρα η οποία χωρίζεται στη μέση από μία πόρτα και έναν «δαίμονα» ο οποίος έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει επακριβώς την ακριβή κίνηση κάθε σωματιδίου αέρα εσωτερικά της δεξαμενής. Όπως γνωρίζουμε, η ταχύτητα κίνησης των σωματιδίων συνδέεται με τη θερμοκρασία ενός σώματος. Όσο ταχύτερη η κίνηση τόσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία. Όταν ένα ταχύ σωματίδιο πλησιάζει προς την πόρτα από την Α προς τη Β πλευρά της δεξαμενής, τότε ο δαίμονας του Maxwell ανοίγει την πόρτα επιτρέποντας τη μετάβαση. Αντίστοιχα, ανοίγει την πόρτα στα αργά σωματίδια κινούμενα από την περιοχή Β προς την Α. Έτσι, πετυχαίνει μεγαλύτερη συγκέντρωση γρήγορων σωματιδίων στην περιοχή Β και αργών στην Α. Αυτό θα οδηγήσει σε μία θερμοκρασιακή διαφορά των δύο αυτών περιοχών η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί έργο. Μια τέτοια θεωρητική διάταξη με την παρουσία ενός τέτοιου δαίμονα παραβιάζει σαφώς τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Ο λόγος είναι ότι στο κλειστό σύστημα της δεξαμενής, θα προχωρούσαμε σε μία οργάνωση των μορίων, θα είχαμε δηλαδή αύξηση της πληροφορίας αναφορικά με την περιγραφή του μικροσυστήματος. Η εντροπία θα μειωνόταν, κάτι το οποίο ο δεύτερος νόμος δεν επιτρέπει.

Η προσέγγιση του Maxwell στηρίζονταν στην ύπαρξη ενός παρατηρητή, του δαίμονά του, ο οποίος μπορεί να παρατηρεί την μικροκατάσταση ενός συστήματος χωρίς να επηρεάζει καθόλου τον φυσικό κόσμο. Εκεί ακριβώς εδράζεται η λύση στο παράδοξο, στο γεγονός δηλαδή ότι ένας τέτοιος παρατηρητής δεν μπορεί να υπάρξει. Για να μπορεί να κάνει μία παρατήρηση ένας παράγοντας τότε πρέπει να πληρώσει κάποιο φυσικό τίμημα. Το τίμημα αυτό το προσδιόρισε το 1929 ο Szilard, ο οποίος απόδειξε ότι μία τέτοια παρατήρηση συνοδεύεται από μία αύξηση εντροπίας, ώστε να αντισταθμιστεί η μείωση εντροπίας η οποία προήλθε από την οργάνωση την οποία επέφερε η δραστηριότητα του δαίμονα αυτού (βλέπε ενότητα 1.1.3).

⁶ Το γεγονός ότι σε κλειστά συστήματα η εντροπία πάντα αυξάνεται είναι ένας τρόπος να τοποθετήσουμε στο χρόνο δύο στιγμιότυπα από ένα σύστημα. Το περισσότερο αποδιοργανωμένο είναι μελλοντικό σε σχέση με το λιγότερο. Έτσι ορίζεται και το «βέλος του χρόνου». [236]

1.1.3 Η πληροφορία είναι φυσικό μέγεθος

Στο νοητικό του πείραμα ο Maxwell εισήγαγε στον κόσμο των φυσικών επιστημών το μέγεθος της πληροφορίας, έστω ακόμα διστακτικά και υπαινικτικά. Ο Szilard [23] εξέλιξε το νοητικό πείραμα του Maxwell, συνδέοντας ακόμα σαφέστερα την πληροφορία με τη θερμοδυναμική. Έστω μία μηχανή θερμότητας (Εικόνα 1-1), εξασφαλίζοντας ότι οι θερμοδυναμικές της μεταβολές θα είναι ισόθερμες (π.χ., με το να είναι βυθισμένη σε μία δεξαμενή με σταθερή θερμοκρασία). Μέσα σε αυτή τη μηχανή υπάρχει ένα και μόνο μόριο όριο το οποίο μπορεί να βρίσκεται είτε στο δεξιά είτε στο αριστερά μισό τμήμα της δεξαμενής. Ως εκ τούτου, η γνώση της θέσης συνιστά πληροφορία ενός bit. Ο δαίμονας του Szilard μπορεί να τοποθετεί ένα διαχωριστικό ακριβώς στη μέση της μηχανής και να τοποθετεί το σκοινί από ένα ρυμουλκό με ένα βάρος από την πλευρά που βρίσκεται το μόριο. Όταν ο δαίμονας αφήσει το διαχωριστικό αυτό ελεύθερο (το οποίο απουσία τριβών και αέρα μπορεί να κινηθεί χωρίς ενεργειακές απώλειες), το μόριο εκτονώνεται ισόθερμα και σπρώχνει το διαχωριστικό προς την ανάποδη κατεύθυνση από τη θέση του (π.χ., αν βρίσκεται από τα δεξιά της δεξαμενής θα το σπρώξει προς τα αριστερά). Η κίνηση του διαχωριστικού, κινεί με τη σειρά της το σκοινί, με αποτέλεσμα την ανύψωση του σώματος μέσω του ρυμουλκού. Ο δαίμονας κατάφερε χρησιμοποιώντας πληροφορία (τη θέση του μορίου) να παράξει ωφέλιμο έργο.



Εικόνα 1-1 Η μηχανή του Szilard, εξέλιξη του νοητικού πειράματος του δαίμονα του Maxwell.

Από τις εξισώσεις (1-1) και (1-2) προκύπτει ότι το παραγόμενο ωφέλιμο έργο είναι

$$Q = k_B T \ln 2 \quad (1-3)$$

Σε συνθήκες δωματίου υπολογίζεται από την παραπάνω εξίσωση ότι η μηχανή Szilard παράγει σε κάθε κύκλο ωφέλιμο έργο ίσο με $3 \times 10^{-21} \text{ J}$. Αν και πολύ μικρό μέγεθος, αν η μηχανή αυτή λειτουργήσει για πολλούς κύκλους θα μπορεί να επιφέρει αποτελέσματα με απτές πρακτικές εφαρμογές. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός όμως κλονίζεται.

Η επεξεργασία της πληροφορίας βρίσκεται στον πυρήνα της πληροφορικής σε κάθε υπολογιστική διαδικασία που συντελείται (computation). Όταν ένας υπολογιστής κάνει υπολογισμούς τότε σβήνει βήματα τα οποία δε χρειάζεται άπαξ και ο υπολογισμός ολοκληρωθεί (είσοδοι του προβλήματος, υπόλοιπα, κρατούμενα κ.ο.κ.). Αυτό το σβήσιμο έχει ως αποτέλεσμα η διαδικασία να πάψει να είναι αντιστρεπτή. Για παράδειγμα, αν το αποτέλεσμα μιας πράξης είναι 12, δεν μπορείς να γνωρίζεις αν αυτό προέκυψε από την πράξη $6 \cdot 2$, ή $36/3$, ή $11+1$. Το ενεργειακό κόστος αυτού του

σβησίματος είναι η παραγωγή θερμότητας, ο οποίος είναι ένας από τους βασικούς λόγους θέρμανσης των υπολογιστών. Το σβήσιμο πληροφορίας, το οποίο αποτελεί αναγκαιότητα λόγω της πεπερασμένης χωρητικότητας της μνήμης, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θερμότητας. Η ενέργεια που απαιτείται για το σβήσιμο ενός bit υπολογίζεται από την εξίσωση (1-3 που όπως είδαμε είναι $3 \times 10^{-21} \text{J}$).

Θεωρητικά, ο δαίμονας θα μπορούσε να παράγει αενάως ωφέλιμο έργο. Η μόνη προϋπόθεση είναι να μπορεί να επεξεργαστεί την πληροφορία της θέσης του μορίου σε κάθε κύκλο της μηχανής. Για να είναι αυτό εφικτό όμως, για να είναι σε θέση να την επεξεργαστεί πρέπει να την αποθηκεύσει. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος κλονίζεται στην περίπτωση που υπάρχει δαίμονας με μνήμη άπειρης χωρητικότητας, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό. Η μνήμη κάθε φυσικού συστήματος, όπως ο υποτιθέμενος δαίμονας, είναι πεπερασμένη. Για να μπορέσει να λειτουργεί η μηχανή, όταν αξιοποιηθεί η μνήμη πρέπει να σβηστεί πληροφορία για να ελευθερωθεί χώρος. Όπως έδειξε ο Landauer [24] το σβήσιμο της πληροφορίας προϋποθέτει κατανάλωση ενέργειας. Με βάση το συλλογισμό αυτό, λοιπόν, η διαδικασία της διαγραφής πληροφορίας στο μυαλό του δαίμονα παράγει την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να μη διαταραχτεί ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος. [25]

Η συνεισφορά του Landauer στη σύνδεση της φυσικής και της έννοιας της πληροφορίας είναι εξαιρετικά σημαντική. Ενώ μέχρι τώρα η σύνδεση γίνονταν μέσω νοητικών πειραμάτων, η πληροφορία ανεδείχθη σαν μία μετρήσιμη ποσότητα άμεσα συνδεδεμένη με φυσικά συστήματα. Όπως η μάζα έχει συσχετισθεί με την ενέργεια μέσω της εξίσωσης του Einstein ($E = mc^2$), έτσι και η ενέργεια συσχετίστηκε με την πληροφορία. Αυτή η σύνδεση κωδικοποιείται στη διάσημη φράση «Η πληροφορία είναι φυσική ποσότητα» (Information is physical). Μέσω αυτής της φράσης δηλώνεται ότι πλέον η πληροφορία δεν πρέπει να θεωρείται ένα επιφανόμενο της ύλης ή/και της ενέργειας, παράγωγο της ανθρώπινης διάνοιας, αλλά να αντιμετωπίζεται ως ένα ακόμα φυσικό μέγεθος. Μάλιστα, η πληροφορία είναι ανεξάρτητη από το μέσο στο οποίο είναι αποθηκευμένη. Η ψηφιακή εποχή βρήκε τέτοιων παραδειγμάτων. Η πληροφορία ενός αρχείου κειμένου είναι η ίδια ανεξάρτητα με το αν βρίσκεται αποθηκευμένη σε ένα CD, σε ένα USB, ή στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή. Η πληροφορία δεν εξαρτάται από το υπόστρωμα στο οποίο κωδικοποιείται και υπάρχει ανεξάρτητα και αυτόνομα.

1.1.4 Πληροφοριακές Μηχανές

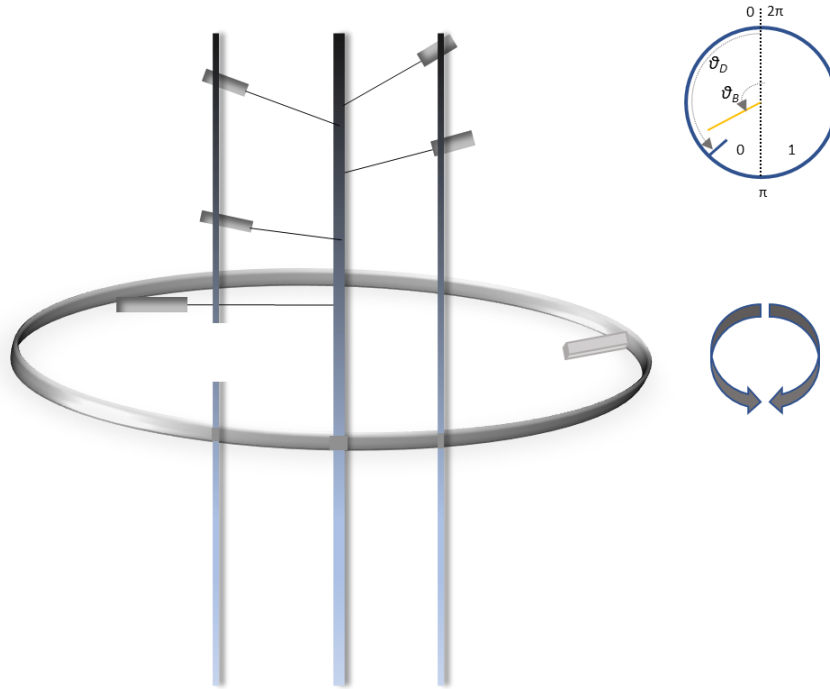
Ποια είναι η σχέση όμως των νοητικών πειραμάτων των Maxwell και Szillard με την απτή πραγματικότητα; Οι δαίμονές τους αποκτούν μορφή μόνο στο διανοητικό επίπεδο ή μπορούν όντως να υλοποιηθούν πειράματα στα οποία ο δαίμονας θα αποτυπωθεί με φυσικό τρόπο ώστε να μελετηθούν στην πράξη οι λειτουργίες του; Αυτή η πρόκληση που υφίσταται ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος τι ανάλογες προκλήσεις προξενεί στη σύγχρονη μηχανική; Δύναται να παραχθεί έργο με καύσιμο της πληροφορία; Σύγχρονες μελέτες έχουν προτείνει μια σειρά από πληροφοριακές μηχανές που επιχειρούν να μετασχηματίσουν τα πειράματα με τους πληροφοριακούς δαίμονες από νοητικά σε φυσικά. Οι πρώτες απόπειρες πληροφοριακών μηχανών είναι γεγονός. [26]–[32]

Στην ενότητα αυτή επιλέγουμε να περιγράψουμε την πληροφοριακή μηχανή όπως περιγράφηκε από τους Lu, Mandal και Jarzynski.[5]. Η μηχανή αυτή καταναλώνει με

συστηματικό τρόπο ενέργεια από μία απλή θερμική δεξαμενή και την αξιοποιεί για την ανύψωση ενός αντικειμένου κόντρα στη βαρύτητα, ενώ παράλληλα καταχωρεί πληροφορία σε μία μνήμη. Πιο συγκεκριμένα, ένα δαχτυλίδι (το οποίο έχει το ρόλο του δαίμονα) μπορεί να περιστρέφεται γύρω από έναν κεντρικό άξονα. Το δαχτυλίδι έχει αυτό μία προεξοχή. Από τον άξονα προεξέχουν λεπίδες οι οποίες μπορούν και αυτές να περιστρέφονται ελεύθερα γύρω από αυτών. Ο άξονας κινείται προς τα κάτω παρασύροντας τις λεπίδες μαζί του. Συνεπίπεδες με τον άξονα είναι δύο ράβδοι. Οι ράβδοι αυτές έχουν το ρόλο να συγκρατούν τις λεπίδες στο ένα μισό του κύκλου που ορίζει το δαχτυλίδι. Αν οι λεπίδες βρίσκονται μεταξύ 0 και π μοιρών τότε η πληροφοριακή τους τιμή είναι 0. Αντίθετα, αν βρίσκονται μεταξύ π και 2π τότε είναι η τιμή είναι 1. Στο ύψος του δαχτυλιδιού ο ένας από τους δύο άξονες (έστω ο αριστερός) έχει μία σχισμή, από την οποία οι λεπίδες μπορούν να διέρχονται, άρα να αλλάζουν κατάσταση (από 0 σε 1 και αντίστροφα). Όλες οι λεπίδες ξεκινούν από κατάσταση 0. Η συσκευή αυτή μπαίνει σε μία δεξαμενή ενός ιδανικού αερίου συγκεκριμένης θερμοκρασίας. Σε κάθε σύγκρουση σωματιδίου του αερίου με την προεξοχή ή τις λεπίδες γίνεται ανταλλαγή μεταξύ της μεταφορικής ενέργειας του σωματιδίου και της περιστροφικής ενέργειας της προεξοχής ή/και των λεπίδων. Η κρούση των λεπίδων με την προεξοχή είναι ελαστική.

Έστω φ η γωνία από τον άξονα που ορίζεται από τον κεντρικό άξονα και τις ράβδους από στην επιφάνεια του δαχτυλιδιού ($\varphi = 0$ στον άξονα χωρίς εγκοπή, $\varphi = \pi$ στον άξονα με εγκοπή). Όταν η κάθε λεπίδα φτάσει στο ύψος του δαχτυλιδιού τότε μπορεί να είναι είτε πριν είτε μετά την προεξοχή. Στην πρώτη περίπτωση ($\varphi_{\text{λεπίδας}}(\theta_D) < \varphi_{\text{προεξοχής}}(\theta_B)$) τότε το δαχτυλίδι μπορεί να κάνει μία πλήρη περιστροφή αντίθετη από τη φορά των δεικτών του ρολογιού (Counterclockwise, CCW), αλλά όχι πλήρη προς την αντίθετη φορά (Clockwise, CW), αφού θα διακοπεί από το σύστημα λεπίδας και ράβδου στο σημείο $\varphi = 0$. Στη δεύτερη περίπτωση, μπορεί αντιστοίχως να κάνει πλήρη CW περιστροφή αλλά όχι CCW. Επειδή η προεξοχή μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε θέση στον κύκλο του δαχτυλιδιού ($0 \leq \varphi_{\text{προεξοχής}} \leq 2\pi$) ενώ η λεπίδα μόνο στην κατάσταση 0 ($0 \leq \varphi_{\text{λεπίδας}} \leq \pi$), τότε είναι προφανές ότι η πρώτη περίπτωση είναι συχνότερη, επομένως, η συνολική αθροιστική περιστροφή του δαχτυλιδιού είναι CCW.

Παρατηρούμε ότι η είσοδος της πληροφοριακής αυτή μηχανής (ακολουθία μηδενικών) δεν περιέχει πληροφορία, αφού δεν υπάρχει αβεβαιότητα για το ποια είναι η κατάσταση: είναι σίγουρα 0. Με αυτή την είσοδο η μηχανή καταφέρνει να μετασχηματίσει θερμότητα σε έργο. Η κενή αυτή μνήμη είναι μία θερμοδυναμική πηγή, της οποίας η απόδοση εξαρτάται μόνο από τη χωρητικότητα της μνήμης αυτής. Είναι μία διαδικασία κατά την οποία η εντροπία μειώνεται (το δαχτυλίδι από τυχαία κάνει προσανατολισμένη κίνηση, από την «αταξία» στην «τάξη»). Πώς σώζεται όμως ο θερμοδυναμικός νόμος; Η μετατροπή της ακολουθίας μηδενικών («τάξη») σε μία μείξη καταστάσεων 1 και 0 («αταξία»), διαδικασία η οποία ισοδυναμεί με την καταχώρηση της πληροφορίας σε μνήμη), συνεπάγεται αύξηση της εντροπίας.



Εικόνα 1-2 Η πληροφοριακή μηχανή των Lu, Mandal και Jarzynski. Υλοποίηση ενός μηχανικού δαίμονα, ο οποίος χρησιμοποιεί ως «καύσιμο» την πληροφορία για την παραγωγή ωφέλιμου έργου.

1.1.5 Κβαντομηχανική: Ο Θεός παίζει ζάρια;

Η συνεισφορά της θερμοδυναμικής επιστήμης στην ανάπτυξη μίας πληροφοριακής αντίληψης είναι σπουδαία. Πρώτα και κύρια ανέδειξε το γεγονός ότι υπάρχει ένα πληροφοριακό κενό, μία κρυμμένη πληροφορία η οποία δεν επιτρέπει την ακριβή περιγραφή της μικροκατάστασης παρά την ακριβή γνώση της μακροκατάστασης. Έτσι λοιπόν, η περιγραφή ενός φυσικού φαινομένου δεν προϋποθέτει την ύπαρξη ιδανικών παρατηρητών με πλήρη γνώση. Μπορούμε να περιγράψουμε ακριβώς την μακροκατάσταση, ανεξάρτητα από την άγνοιά μας για την μικροκατάσταση. Επίσης, απέδειξε ότι δεν υπάρχει ιδανικός παρατηρητής ο οποίος να μην επηρεάζει τον φυσικό κόσμο, τουλάχιστον αν δεν πληρώσει κάποιο εντροπικό κόστος. Κάθε παρατήρηση είναι κομμάτι μιας φυσικής διαδικασίας, υπόκειται στους νόμους που διέπουν τη φύση και είναι κομμάτι του φυσικού κόσμου, τον επηρεάζει και επηρεάζεται από αυτό. Με τη νέα νοητική παράδοση την οποία εγκαινίασε η θερμοδυναμική, η απροσδιοριστία ως έννοια, η παραδοχή πιθανοκρατικών φαινομένων στα όρια του κλασικού ντετερμινισμού, η αμφισβήτηση της ύπαρξης ενός ιδανικού παρατηρητή και η σύνδεση της διαδικασίας της παρατήρησης με φυσικά συνεπακόλουθα ήταν τα θεμέλια πάνω στα οποία χτίστηκε ίσως η πιο γοητευτική και μυστηριακή προσέγγιση της φυσικής, η κβαντομηχανική.

Στα τέλη του 19ου αι. μ.Χ. η κλασική φυσική έμοιαζε να έχει υπερβεί τα όριά της. Η βιομηχανική επανάσταση θεμελιώθηκε πάνω στην αξιοποίηση της θερμοδυναμικής με μία σειρά φαινομένων τα οποία αδυνατούσε να ερμηνεύσει η νευτώνεια μηχανική. Αντίστοιχα, η μελέτη φαινομένων όπως αυτά της ακτινοβολίας θερμών σωματιδίων [33] δημιουργούσαν ένα καθεστώς αμηχανίας απέναντι σε μία καλά εδραιωμένη επιστημονική φάση, η οποία όμως έμοιαζε να φτάνει τα φυσικά της όρια. Η υπέρβαση

αυτών των αδυναμιών της κλασικής φυσικής προέκυψε μέσω μίας εκ βάθρων επαναπροσέγγισης του βασικού πυλώνα της, αυτό του υπερ-εξιδανικευμένου παρατηρητή. Ο ρόλος του πειράματος και της παρατήρησης άλλαξε τελείως το νοητικό πλαίσιο αντίληψης της πραγματικότητας και έθεσε το πλαίσιο πάνω στο οποίο θεμελιώθηκε η κβαντομηχανική. Η κβαντομηχανική όμως έδειξε ότι ένας παρατηρητής, αξιωματικά, δεν μπορεί παρά να έχει πληροφοριακά οριοθετημένη ικανότητα γνώσης της κατάστασης ενός συστήματος και ότι αδυνατεί να προβλέψει με ντετερμινιστικό τρόπο την εξέλιξή του. Η πληροφορία λοιπόν άρχισε να αποκτά δομικό χαρακτήρα, να έχει φυσικό ρόλο και να μην είναι απλώς το λογικό εξαγόμενο της παρατήρησης ενός ντετερμινιστικού φαινομένου. Η πληροφορία ως έννοια, από δευτερευούσης σημασίας στην κλασική φυσική, αναβαθμίστηκε σε ουσιαστική παράμετρο φυσικής ερμηνείας της πραγματικότητας.

Στο κλασικό πείραμα της διπλής σχισμής [34], παρατηρούμε ότι τα φωτόνια δείχνουν να συμπεριφέρονται, κατά μία έννοια, απρόβλεπτα. Αυτό φαίνεται τόσο στις αρχικές φάσεις του παραπάνω πειράματος, όσο και στην παραλλαγή του. Αν φράξουμε τη μία σχισμή τότε θα παρατηρήσουμε ότι στην οθόνη καταγράφονται αναλαμπές σε τυχαία σημεία. Σε κάθε διαδοχική «ρίψη» το φωτεινό σωματίδιο ακολουθεί μία δικιά του πορεία, διαφορετική κατά κανόνα με τις προηγούμενες και επόμενες. Αυτό το φαινόμενο συγκρούεται έντονα με την πεποίθηση του Einstein ότι στη φύση δεν μπορεί να υπάρχει τίποτα απρόβλεπτο, τίποτα απροσδιόριστο, τίποτα τυχαίο. Δεσμευμένος και ο ίδιος από την πεποίθηση αιώνων σχετικά με την ντετερμινιστική φύση του κόσμου, δεν μπορούσε να πιστέψει ότι υπάρχει κάποιο φυσικό φαινόμενο το οποίο να είναι εγγενώς τυχαίο. Διάσημη είναι άλλωστε η σχετική του φράση, ότι «ο Θεός δεν παίζει ζάρια με το σύμπαν», εκφράζοντας τη βαθιά του πεποίθηση ότι αυτή η αβεβαιότητα και απροσδιοριστία ήταν απλώς κάτι φαινομενικό. Πίστευε ότι στην πράξη, η κβαντική φύση του φωτός λειτουργεί σαν κάτι το οποίο καλύπτει τη βαθύτερη πραγματικότητα και δεν μας επιτρέπει να δούμε παραμέτρους οι οποίες θα μας ενημέρωναν για τις φαινομενικά απρόβλεπτες συμπεριφορές. Ένα θεικό μάτι θα μπορούσε να δει αυτές τις κρυφές παραμέτρους με αποτέλεσμα να καταστεί ντετερμινιστική η απρόβλεπτη συμπεριφορά των κβαντικών φαινομένων. Η θεωρία αυτή ονομάστηκε αργότερα «θεωρία των κρυμμένων μεταβλητών» η οποία καταρρίφθηκε από τον Bell. [35]

Το 1926 ο Γερμανός φυσικός Werner Heisenberg, με την περίφημη αρχή της απροσδιοριστίας του, σημείωσε ότι δεν είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε με ακρίβεια ταυτόχρονα τόσο τη θέση όσο και την ταχύτητα των σωματιδίων. Για να μπορέσεις να δεις τη θέση ενός σωματιδίου, για να το εντοπίσεις δηλαδή, πρέπει να ρίξεις φως. Δεν εννοούμε βεβαίως ότι το σωματίδιο είναι στο σκοτάδι και χρειάζεται φως για να φανερωθεί, αλλά ότι στον μικρόκοσμο των κβαντικών καταστάσεων ο εντοπισμός των σωματιδίων γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Στην περίπτωση αυτή όμως, ακόμα και ένα κβάντο φωτός θα διατάρασσε το σωματίδιο και θα άλλαζε την ταχύτητά του με τρόπο ο οποίος δεν μπορεί να προβλεφθεί. Στην κβαντομηχανική λοιπόν δεν είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης και της ταχύτητας των σωματιδίων. «Αυτή είναι η αρχή της αβεβαιότητας στον Heisenberg: ένας έσχατος φραγμός που εγγυάται ότι κανείς ποτέ δε θα γνωρίζει αρκετά για να προβλέψει το μέλλον.» [4] Ο Heisenberg μάλιστα ποσοτικοποίησε τη σχέση απροσδιοριστίας:

$$m\Delta x\Delta v \geq \frac{\hbar}{2} \quad (1-4)$$

Όπου m η μάζα του σωματιδίου και \hbar η σταθερά του Planck, ενώ με τα Δx και Δv προσδιορίζεται το εύρος της θέσης και της ταχύτητας (η αβεβαιότητα στη θέση και την ταχύτητα), αντίστοιχα, στο οποίο θέλουμε να προσδιορίσουμε το σωματίδιο.

Ο Schrödinger μαθηματικοποίησε τα μεγέθη της θέσης και της ταχύτητας των σωματιδίων στη διάσημη εξίσωση της κυματοσυνάρτησής του (ψ):

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V)\psi = 0 \quad (1-5)$$

Όπου, x η θέση, E η ενέργεια, V η δυναμική ενέργεια. Η κυματοσυνάρτηση μας δείχνει την πιθανότητα ενός σωματιδίου να βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη θέση στο χώρο, ενώ ο ρυθμός με τον οποίον μεταβάλλεται η κυματοσυνάρτηση αυτή από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο προσδιορίζει την ταχύτητα του σωματιδίου. Όταν επιλέξουμε να προσεγγίσουμε την πιθανότητα ένα σωματίδιο να βρεθεί σε ένα πολύ μικρό σημείο του χώρου, προσδιορίζοντας με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τη θέση του, τότε προκύπτει μαθηματικά, ότι ο ρυθμός της κυματοσυνάρτησης μεγαλώνει, επομένως, παρόλο που μειώθηκε η αβεβαιότητα στον εντοπισμό της θέσης, αυξήθηκε στον εντοπισμό της ταχύτητας. Ισχύει και το αντίθετο, όπως αναμένεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι αφού η κυματοσυνάρτηση μας δίνει πληροφορίες τόσο για τη θέση όσο και για την ταχύτητα, τότε ο ντετερμινισμός δεν έχει απολύτως χαθεί. Από την άλλη, απέχει παρασάγγας από τον λαπλασιανό ντετερμινισμό, στον οποίο όλα είναι εν δυνάμει προβλέψιμα και γνωστά. Η διαχωριστική γραμμή από τον ντετερμινισμό του 19ου αι. μ.Χ. έχει μπει ανεπιστρεπτί.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν ιδανικό παρατηρητή ενός κβαντομηχανικού συστήματος. Από τις παραπάνω ιδιότητες προκύπτει ότι δημιουργείται πάντα ένα πληροφοριακό κενό στη συνολική γνώση του συστήματος. Για να εξηγήσει αυτό το κενό ο Goyal [36] περιγράφει τις μετρήσεις Stern–Gerlach οι οποίες πραγματοποιούνται σε ένα ηλεκτρόνιο με μαγνητική ροπή (spin). Το spin ενός σωματιδίου αναπαρίσταται κλασικά ως ένα τρισδιάστατο διάνυσμα μ . Η Stern–Gerlach μέτρηση περιλαμβάνει ένα ζευγάρι μαγνητών οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση r και οι οποίοι εκτρέπουν το άτομο του αργύρου (Ag) πάνω ή κάτω κατά μία ποσότητα η οποία εξαρτάται από το πλάτος του μ στην κατεύθυνση του r . Στην προσέγγιση της κλασικής φυσικής, στην οποία η μέτρηση δεν επηρεάζει το σύστημα, για να εντοπίσουμε το spin του ηλεκτρονίου θα μπορούσαμε να διεξάγουμε τρεις διαδοχικές μετρήσεις, μία στην κατεύθυνση του z , μία στο x και μία στο y .

Στην κβαντομηχανική, η κατάσταση του spin ενός σωματιδίου αναπαρίσταται σε ένα δισδιάστατο διάνυσμα στο οποίο το όρισμα είναι μιγαδικοί αριθμοί, ως εξής:

$$v = \begin{pmatrix} \sqrt{p_1} e^{i\varphi_1} \\ \sqrt{p_2} e^{i\varphi_2} \end{pmatrix} \quad (1-6)$$

Στη διεύθυνση του z , λόγω του κβαντικού φορμαλισμού, οι τιμές που μπορεί να πάρει η μέτρηση είναι μόνο, συμβατικά, πάνω (\uparrow) – με πιθανότητα p_1 και κάτω (\downarrow) με πιθανότητα p_2 . Αν η μέτρηση επαναληφθεί αμέσως, ιδανικά, λόγω της κατάρρευσης της κυματοσυνάρτησης, θα προκύψει πάλι το ίδιο αποτέλεσμα. Άρα, αν π.χ. η έκβαση του

πρώτου αποτελέσματος ήταν πάνω, η ίδια θα ήταν και του δεύτερου. Έτσι λοιπόν, η κατάσταση του spin μετά τη δεύτερη μέτρηση θα εκφράζονταν ως:

$$v = \begin{pmatrix} e^{i\varphi_1} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1-7)$$

Όπου το φ_1 είναι αυθαίρετο, επομένως συμπεραίνουμε ότι η πρώτη μέτρηση διατάραξε την κατάσταση του συστήματος. Προκύπτει λοιπόν ότι ο παρατηρητής προσδιόρισε τις τιμές p_1 και p_2 εις βάρος όμως των τιμών φ_1 και φ_2 (αρχή της συμπληρωματικότητας). Χάνεται με άλλα λόγια ένα πληροφοριακό ίχνος, κάτι το οποίο όμως δεν οφείλεται σε αδυναμία σχεδιασμού καλύτερων πειραματικών μεθόδων, αλλά είναι εγγενές στοιχείο το οποίο ορίζεται από το κβαντομηχανικό πλαίσιο.

Στο παραπάνω πείραμα γίνονται σαφή τόσο η περιορισμένη πληροφορία σχετικά με την έκβαση μίας μέτρησης (ο πειραματιστής δε γνωρίζει αν η έκβαση θα είναι πάνω ή κάτω, παρά μόνο την πιθανότητα η έκβαση να είναι πάνω ή κάτω), καθώς και σχετικά με την κατάσταση ενός φυσικού συστήματος (ο πειραματιστής μπορεί μετά το πείραμα να γνωρίζει αν η κατάσταση είναι πάνω ή κάτω, αλλά από την άλλη θα διαταραχθεί το σύστημα αναφορικά με τις μεταβλητές φ_1 και φ_2 μεταβαίνοντας το συνολικό σύστημα σε μία νέα κατάσταση). Οι δύο αυτοί λόγοι δικαιολογούν αυτό το «πληροφοριακό κενό» το οποίο είναι δομικό χαρακτηριστικό της κβαντομηχανικής.

Ένα επιπλέον διαφοροποιό στοιχείο της κλασικής φυσικής με την κβαντομηχανική είναι η σχέση ενός συστήματος με τα υπο-συστήματα από τα οποία αποτελείται. Στην αντίληψη της κλασικής φυσικής μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι ένα σύστημα συντίθεται από επιμέρους συστήματα μη συνδεδεμένα μεταξύ τους και ότι η περιγραφή του συνόλου είναι η αθροιστική περιγραφή των επιμέρους. Στην κβαντομηχανική όμως η φυσική πραγματικότητα απέχει από αυτή της κλασικής φυσικής. Η περιγραφή ενός συστήματος δεν μπορεί να γίνει μέσω της αποσύνθεσής του σε επιμέρους και συνάθροισης της περιγραφής τους. Ίσως το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα διασαφήνισης του προηγούμενου είναι η κβαντική διεμπλοκή / εναγκαλισμός (entanglement). Υπάρχουν συστήματα τα οποία αποτελούνται από δύο υποσυστήματα των οποίων οι καταστάσεις δεν μπορούν να περιγραφτούν ξεχωριστά του ενός από του άλλου. Είναι σε εξάρτηση μεταξύ τους, με βάση την ορολογία της κβαντομηχανικής είναι «εναγκαλισμένα» συστήματα. Η κατάσταση περιπλέκεται ακόμα πιο πολύ στην περίπτωση αλληλεπίδρασης μεταξύ δυο κβαντομηχανικών συστημάτων, τα οποία αφότου αλληλοεπιδράσουν εναγκαλίζονται. Για παράδειγμα, αν δύο σωματίδια, π.χ. ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο, αλληλοεπιδράσουν τοπικά τότε προκύπτει μία κατάσταση εναγκαλισμού μεταξύ τους. Αυτή η κατάσταση διατηρείται ακόμα και αν τα σωματίδια αυτά απομακρυνθούν πολύ στο χώρο. Παρά λοιπόν την απουσία χωρικής συσχέτισης, λόγω απόστασης, τα εναγκαλισμένα συστήματα παραμένουν συνδεδεμένα. Ένας παράγοντας (agent) λοιπόν αν μελετήσει το ένα «επηρεάζει» και το άλλο. Ο λόγος είναι ότι η ουσία του εναγκαλισμού έγκειται στο ότι όταν ο παράγοντας αυτός μετρήσει κάποια χαρακτηριστικά του ενός συστήματος, αυτό θα πάψει να είναι σε καθεστώς υπέρθεσης, θα καταρρεύσει η κυματοσυνάρτηση, επομένως τα χαρακτηριστικά που αναζητεί θα πάρουν μία τιμή. Λόγω εναγκαλισμού, θα καταρρεύσει αυτόματα και η κυματοσυνάρτηση του εναγκαλισμένου σωματιδίου, επομένως θα γνωρίσει την τιμή και αυτού. Ο Bell απέδειξε μάλιστα ότι αυτή η «επικοινωνία» γίνεται στιγμιαία. [37] Κάτι

τέτοιο βέβαια οδηγεί σε ένα φαινομενικά, για την εποχή, παράδοξο, να συμβαίνει μία φαινομενική επικοινωνία με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή το φως, κάτι το οποίο αντιβαίνει στην ειδική θεωρία της Σχετικότητας του Einstein.⁷ Μάλιστα, όλη η ουσία του εναγκαλισμού προϋποθέτει άρση της τοπικότητας (locality) κάτι το οποίο αμφισβητεί το πλαίσιο της κλασικής φυσικής.

1.1.6 Οι Μαύρες Τρύπες εξαφανίζουν τα πάντα ... εκτός από την πληροφορία

Η ύπαρξη μαύρης τρύπας είναι ίσως το πιο συγκλονιστικό φαινόμενο το οποίο προκύπτει από τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Αδρομερώς, η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι κάθε μάζα καμπυλώνει το χωροχρόνο (το σύμπαν θεωρείται ένας τετραδιάστατος χώρος, στον οποίον ο χρόνος είναι η μία διάσταση). Ως εκ τούτου, η βαρύτητα είναι αποτέλεσμα της καμπύλωσης αυτής. Όταν μία πολύ μεγάλη μάζα, για κάποιους λόγους, συρρικνωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, αποκτώντας τεράστια πυκνότητα, τότε καμπυλώνει αναλόγως εξίσου έντονα το χωροχρόνο, δημιουργώντας ένα εξαιρετικό ισχυρό βαρυτικό πεδίο. Από ένα σημείο του χώρου και έπειτα, τον λεγόμενο ορίζοντα, τίποτα δεν μπορεί να ξεφύγει από το πεδίο αυτό, ούτε καν το ίδιο το φως, εξού και ο όρος «μαύρη τρύπα», όπως προτάθηκε από τον Wheeler [38]. Στο κέντρο της μαύρης τρύπας, εκεί που βρίσκεται η συρρικνωμένη μάζα με την τεράστια πυκνότητα ονομάζεται «ανωμαλία». Ο ιδιόμορφος αυτός όρος, παράταιρος για τον εξευγενισμένο λεκτικό κώδικα της επιστήμης, θέλει να εκφράσει τον απειλητικό χαρακτήρα της περιοχής αυτής, στην οποία τίποτα δεν μπορεί να επιβιώσει λόγω της επίδρασης των απείρως ισχυρών δυνάμεων. Εκεί συμβαίνει το «ανώμαλο» γεγονός, η καμπυλότητα να είναι άπειρη. Η απόσταση του ορίζοντα από την ανωμαλία προκύπτει από την ακτίνα Schwarzschild (R_s) με βάση τον τύπο:

$$R_s = \frac{2MG}{c^2} \quad (1-8)$$

Όπου M είναι η μάζα της μαύρης τρύπας, G η βαρυτική σταθερά (ή σταθερά της παγκόσμιας έλξης ή σταθερά του Νεύτωνα) και c η ταχύτητα του φωτός.

Μέχρις στιγμής έχουμε μιλήσει για τα νέα δεδομένα τα οποία έφεραν η θερμοδυναμική και η κβαντομηχανική σχετικά με την έννοια της παρατήρησης, της αιτιοκρατικής γνώσης των συστημάτων και της φυσικής έννοιας της πληροφορίας. Μπορεί να συσχετιστούν άραγε αυτές οι προσεγγίσεις με τη μελέτη των μαύρων τρυπών; Πώς ο μικρόκοσμος των κβαντικών φαινομένων μπορεί να συναντήσει τον μέγακοσμο του σύμπαντος; Πώς μπορεί να γεφυρωθεί το επιστημονικό χάσμα στην παράλληλη μελέτη φαινομένων που προκύπτουν από ασύλληπτες μάζες, κατά πολύ μεγαλύτερες ακόμα και του ήλιου του ηλιακού μας συστήματος, και από τις απειροελάχιστες των στοιχειωδών σωματιδίων; Επίσης, τι σχέση έχει η θερμοδυναμική, η μελέτη της ροής

⁷ Το παράδοξο αυτό ονομάστηκε παράδοξο EPR, από τα αρχικά των ονομάτων των Einstein, Podolsky και Rosen. Για την επίλυση του παραδόξου έχουν προταθεί μια σειρά από λύσεις, η παρουσίαση των οποίων όμως ξεφεύγει από το πλαίσιο της εργασίας αυτής.

θερμότητας με σκοπό την παραγωγή έργου, κάτι τόσο γήινο και εφαρμόσιμο, με ένα μυστηριακό φαινόμενο στα όρια του απόκοσμου, όπως αυτό της μαύρης τρύπας;

Η σύνδεση της θερμοδυναμικής με τις μαύρες τρύπες έγινε από τον Jacob Bekenstein, το 1973, ο οποίος πρωτοδιατύπωσε την άποψη ότι ο το εμβαδόν του ορίζοντα των γεγονότων μίας μαύρης τρύπας είναι το μέτρο της εντροπίας της. [39] Η άποψή του αυτή προέκυψε μετά από την εργασία του Έλληνα φυσικού, Δημήτρη Χριστοδούλου, «Αντιστρεπτοί και μη αντιστρεπτοί μηχανισμοί στη φυσική των μελανών οπών» [40], ο οποίος παρατήρησε ότι οι εξισώσεις που περιγράφουν τις αργές μεταβολές των ιδιοτήτων των μαύρων τρυπών (όταν, για παράδειγμα, προστίθεται αργά σε αυτές αέριο) μοιάζουν με ορισμένες από τις εξισώσεις της θερμοδυναμικής. Παρόλα αυτά, θεωρούσε ότι αυτή η φαινομενική ομοιότητα είναι συμπτωματική και ότι δεν συσχετίζεται επιστημονικά. Μία ακόμα ένδειξη ήρθε λίγο αργότερα όταν ο Hawking απέδειξε ότι το εμβαδόν του ορίζοντα μιας μαύρης τρύπας δεν μπορεί ποτέ να συρρικνωθεί. Κάτι το οποίο δημιουργεί συνειρμούς με την θερμοδυναμική εντροπία, η οποία βάση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, επίσης δεν μπορεί ποτέ να μειωθεί. Σε εργασία τους οι Bardeen, Carter και Hawking [41] αναφέρουν ότι αν στις εξισώσεις που προκύπτουν για τη μηχανική των μαύρων τρυπών αντικαταστήσει κανείς τις λέξεις «εμβαδόν της επιφάνειας» με τη λέξη «εντροπία» και τη φράση «επιφανειακή βαρύτητα» με την «θερμοκρασία», τότε εμφανίζεται μία αξιοσημείωτη αναλογία με τους νόμους της θερμοδυναμικής.

Ο Hawking όμως θεωρούσε ότι αποκλείεται μια μαύρη τρύπα να έχει την οποιαδήποτε εντροπική φύση. Αυτό το σαρωτικό βαρυτικό χωνευτήρι δεν αφήνει τίποτα να παραμείνει τυχαίο, οποιοδήποτε σώμα ρουφά είναι απλώς τροφή σε τρεις και μοναδικές ιδιότητες της, τη μάζα, τη στροφορμή και το ηλεκτρικό φορτίο. Ήταν εκείνη την εποχή κιόλας όταν οι Ruffini και Wheeler διατύπωσαν το “no-hair” θεώρημα. [42] Οι μαύρες τρύπες δεν έχουν τρίχες.⁸ Με αυτή τη φράση ήθελαν να καταστήσουν σαφές ότι όταν μια μαύρη τρύπα σχηματίζεται από την κατάρρευση ενός άστρου, ο ορίζοντας της καταλήγει σε ένα σχήμα χωρίς κανένα παρατηρήσιμο χαρακτηριστικό (εξογκώματα, ανομοιομορφίες κ.λπ.) Τα μοναδικά στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν τη μαύρη τρύπα είναι οι τρεις προαναφερθείσες ιδιότητες.

Ένα πολύ βασικό ερώτημα όμως παρέμεινε να ταλανίζει όσους ασχολούνταν με τις μαύρες τρύπες εκείνη την εποχή. Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, με βάση τον οποίο η εντροπία ενός κλειστού συστήματος δεν μπορεί ποτέ να μειωθεί, είχε αναδειχθεί σε θεμελιακό νόμο ο οποίος έχει συμπαντική εφαρμογή, είναι βασικό άρθρο στο καταστατικό σύνταγμα της φύσης. Αν δεν ίσχυε τότε ολόκληρη η επιστημονική σκέψη

⁸ «[...] ένας παρατηρητής αρκετά συνετός ώστε να μην πέσει μέσα στη μαύρη τρύπα, δεν μπορεί να τρέξει την εξίσωση Schrodinger προς τα πίσω στο χρόνο για να προσδιορίσει την κυματοσυνάρτηση σε προγενέστερες στιγμές. Για να επιτύχει κάτι τέτοιο, χρειάζεται να γνωρίζει το τμήμα της κυματοσυνάρτησης το οποίο βρίσκεται στο εσωτερικό της μαύρης τρύπας. Το τμήμα αυτό περιέχει πληροφορία σχετικά με το τι έχει πέσει μέσα στην τρύπα. Τούτη η ποσότητα πληροφορίας όμως ενδέχεται να είναι πολύ μεγάλη, διότι μια μαύρη τρύπα με δεδομένη μάζα και στροφορμή μπορεί να έχει σχηματιστεί από πολύ μεγάλο πλήθος διαφορετικών συγκεντρώσεων σωματιδίων, η μαύρη τρύπα δεν εξαρτάται από τη φύση του σώματος που κατέρρευσε για να τη σχηματίσει. Ο John Wheeler διατύπωσε αυτό το συμπέρασμα με τη φράση «μια μαύρη τρύπα δεν αφήνει ίχνη» (ή, χρησιμοποιώντας μία πιο περιπαικτική διατύπωση, «μια μαύρη τρύπα δεν έχει τρίχες».)» [237]

έπρεπε να επαναπροσδιορισθεί εκ θεμελίων. Ας φανταστούμε λοιπόν μία δεξαμενή με θερμό αέρα, με μεγάλη εντροπία λόγω της κίνησης των μορίων του, η οποία περνάει τον ορίζοντα μιας μαύρης τρύπας. Τότε, η εντροπία αυτή θα χαθεί. Ως εκ τούτου, θα μειωθεί η εντροπία του σύμπαντος, αφού το σύμπαν μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα οικουμενικό, τεράστιο, κλειστό σύστημα.

Η φαινομενική παραβίαση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου έκανε τον Bekenstein να πιστεύει ότι η μαύρη τρύπα όντως έχει εντροπία. [39] Μάλιστα, πίστευε ότι όταν ένα σώμα εισέρχεται σε μία μαύρη τρύπα, τότε το εντροπικό κενό το οποίο άφησε πίσω του το σώμα αυτό αναπληρώνεται στην επιφάνεια του ορίζοντα της μαύρης τρύπας. Πώς όμως έφτασε σε αυτό το συμπέρασμα; Αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα ότι η εντροπία είναι χαμένη πληροφορία και ότι μονάδα πληροφορίας είναι το bit. Για να εντοπίσει την εντροπία την οποία διαθέτει μία μαύρη τρύπα έπρεπε να προσδιορίσει τον αριθμό των bit πληροφορίας οι οποίες χωρούν μέσα της. Οι παρατηρήσεις όμως των Χριστοδούλου [40] και Hawking [41] σχετικά με μία αναλογία του εμβαδού της μαύρης τρύπας και της εντροπίας τον οδήγησαν να απαντήσει σε ένα διαφορετικό αλλά ισοδύναμο ερώτημα, αναφορικά με το πώς θα μεταβληθεί ο ορίζοντας της μαύρης τρύπας αν εισχωρήσει σε αυτόν ένα bit πληροφορίας. Τίθεται όμως το ερώτημα του τι συνιστά με φυσικό τρόπο η είσοδος ενός bit σε φυσικό σώμα, όπως η μαύρη τρύπα. Αυτό το bit μπορεί να το αποτελέσει η ύπαρξη ή μη ενός φωτονίου. Δεν ενδιαφέρει το από πού προέρχεται, ούτε το σε ποιο σημείο ακριβώς διεισδύει εντός της τρύπας. Η μόνη πληροφορία είναι το αν μπήκε ή όχι, η απάντηση σε αυτό το δυαδικό ερώτημα. Αν είχαμε κάποια υπόνοια για το σε ποιο σημείο πήγε το φωτόνιο, οπότε για την περιγραφή δε θα αρκούσε απλώς το αν μπήκε, θα θέλαμε στοιχεία και για το που. Άρα θα χρειαζόμασταν παραπάνω από 1 bit πληροφορίας. Για το λόγω αυτό θεώρησε ότι το φωτόνιο έχει μήκος κύματος όσο η ακτίνα Schwarzschild. Ο Bekenstein θεώρησε λοιπόν ότι η είσοδος ενός φωτονίου με $\lambda = R_s$ συνιστά είσοδο ενός bit πληροφορίας. Στη συνέχεια έμενε να δει το πώς θα μεταβληθεί στην περίπτωση αυτή ο ορίζοντάς της.⁹ Ένα τέτοιο φωτόνιο έχει ενέργεια:

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} = \frac{hc}{R_s} \quad (1-9)$$

Αυτή η ποσότητα ενέργειας συνεπάγεται, βάση της γνωστής εξίσωσης του Einstein ($E = mc^2$) αύξηση της μάζας κατά:

$$\Delta M = \frac{E}{c^2} = \frac{h}{cR_s} \quad (1-10)$$

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της μεταβολής της ακτίνας Schwarzschild.

$$\Delta R_s = \frac{2G\Delta M}{c^2} = \frac{2Gh}{c^3R_s} \quad (1-11)$$

⁹ Για τη διαδικασία της απόδειξης στηριχθήκαμε στις σημειώσεις του μαθήματος «Special and General Relativity», του πανεπιστήμιου του Stanford, του καθηγητή Gary Oas: <https://web.stanford.edu/~oas/SI/SRGR/notes/BekensteinsDerivation.pdf>

Το εμβαδόν της επιφάνειας του ορίζοντα είναι:

$$\begin{aligned} A' &= A + \Delta A = 4\pi(R_s + \Delta R_s)^2 = 4\pi R_s^2 \left(1 + \frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2 \\ &= A \left(1 + \frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2 = A + A \left(2 \frac{\Delta R_s}{R_s} + \left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2\right) \Rightarrow \end{aligned} \quad (1-12)$$

$$\begin{aligned} \Delta A &= A \left(2 \frac{\Delta R_s}{R_s} + \left(\frac{\Delta R_s}{R_s}\right)^2\right) = 4\pi R_s^2 \left(\frac{4Gh}{c^3 R_s^2} + \left(\frac{2Gh}{c^3 R_s}\right)^2\right) \\ &= \frac{16\pi Gh}{c^3} + \frac{16\pi G^2 h^2}{c^3 R_s^2} \end{aligned} \quad (1-13)$$

Αν θέλουμε να εκφράσουμε το παραπάνω χρησιμοποιώντας την επιφάνεια Planck (A_p)¹⁰ τότε προκύπτει:

$$\Delta A = 32\pi^2 A_p + 64\pi^3 A_p^2 \frac{1}{R_s^2} \quad (1-14)$$

Ο πρώτος όρος είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος της μαύρης τρύπας. Άρα, κάθε φορά που προστίθεται ένα bit πληροφορίας τότε το εμβαδόν του ορίζοντα της μαύρης τρύπας αυξάνεται κατά ένα σταθερό μέγεθος, ανάλογο της επιφάνειας Planck. Ο δεύτερος όρος είναι πολύ μικρότερος από τον πρώτο, ως εκ τούτου μπορεί να παραληφθεί. Αποδείχθηκε λοιπόν ότι η εντροπία μίας μαύρης τρύπας είναι ανάλογη του εμβαδού του ορίζοντάς της.

Ενώ η μεθοδολογία του Bekenstein σε επίπεδο σκεπτικού ήταν σωστή, είχε κάποιες εσφαλμένες παραδοχές. Η σωστή σχέση της εντροπίας (S) μίας μαύρης τρύπας με το εμβαδόν του ορίζοντά της δόθηκε από τον Hawking [43] και είναι:

$$S = \frac{c^3 k A}{4\hbar G} = \frac{A}{4A_p} \quad (1-15)$$

Η εντροπία ως έννοια συνδέεται άρρηκτα με αυτήν της ενέργειας. Ο λόγος είναι ότι αποτελεί μέτρο των πιθανών διατάξεων κάποιων στοιχείων, αλλά κάθε στοιχείο στη φύση μπορεί να εκφραστεί με όρους ενέργειας. Συνεπώς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα πληροφοριακά bit με κάποιο τρόπο περιγράφουν τις διατάξεις των bit ενέργειας. Ο

¹⁰ Η επιφάνεια Planck είναι το τετράγωνο του μήκους Planck (l_p). Το μήκος αυτό εκφράζει το μικρότερο μήκος το οποίο μπορεί να βρεθεί στη φύση και έχει θεμελιακό χαρακτήρα. Προκύπτει με βάση τον εξής συλλογισμό: έστω ένας κβαντικός παλμός ο οποίος συμβαίνει για πάρα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, άρα, λόγω της αρχής της αβεβαιότητας η ενέργεια του παλμού έχει τη σχέση: $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$. Με κατάλληλες πράξεις προκύπτει ότι $l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά μικρό μήκος, περίπου 10^{-20} φορές μικρότερο από τη διάμετρο ενός πρωτονίου! Η θεωρητική σημασία του μήκους αυτού είναι ότι περιγράφει το κβάντο του χώρου, μέσω του οποίου υφάινεται ο κβαντικός ιστός (οι φυσικοί της βαρυτικής κβαντικής τον αναφέρουν και ως κβαντικό αφρό). Θεωρείται ότι είναι το μικρότερο μήκος το οποίο μπορεί να συναντηθεί στο σύμπαν. Κάθε απόπειρα να εντοπιστεί μικρότερο μήκος έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μαύρων τρυπών. [238]

τύπος άλλωστε $S = \frac{A}{4A_p}$ περιγράφει ότι η εντροπία είναι ανάλογη του εμβαδού του ορίζοντά της μαύρης τρύπας, μετρούμενο σε μονάδες Planck. Συμπερασματικά λοιπόν, τα bit πληροφορίας της μαύρης τρύπας οργανώνονται σε πιθανές διατάξεις σε θέσεις της επιφάνειας του ορίζοντα οι οποίες έχουν εξαιρετικά μικρό εμβαδό, της τάξης των εμβαδού Planck.

Η επικρατούσα αντίληψη μέχρι τότε ήταν ότι τα χαρακτηριστικά της μαύρης τρύπας ήταν μόνο η μάζα της, η στροφορμή της και το ηλεκτρικό της φορτίο. Σε αυτά προστέθηκε και η εντροπία, αν και ακόμα πολλοί δεν είχαν πειστεί. Πώς είναι δυνατόν, ένα «μόρφωμα», το οποίο ό,τι «καταπίνει» είναι απλώς τροφή για την αύξηση μίας ομοιογενοποιημένης μοναδικότητας (singularity), να εμφανίζει πολλαπλές διατάξεις (άρα να έχει εντροπία); Ένας από τους «άπιστους» ήταν και ο Steven Hawking. Ο οποίος όμως πρότεινε κάτι εξαιρετικά σπουδαίο το οποίο έδωσε νέα πνοή στη μελέτη των μαύρων τρυπών: ότι ακτινοβολούν και έχουν θερμοκρασία. Τα πεδία, ακόμα και στο κενό, δεν μπορεί να είναι ποτέ μηδενικά, με βάση την κβαντική μηχανική. Αν υπήρχαν μηδενικά πεδία τότε θα μπορούσαμε να περιγράψουμε με ακρίβεια τη θέση και την ταχύτητά τους, κάτι το οποίο παραβιάζει την αρχή της απροσδιοριστίας. Μία από τις επικρατούσες θεωρίες λέει ότι οι διακυμάνσεις οι οποίες εμφανίζονται στο κενό (και οι οποίες δίνουν την αίσθηση του μηδενικού πεδίου) είναι στην πραγματικότητα ζεύγη δυνάμει σωματιδίων τα οποία συνεμφανίζονται σε κάποιο σημείο του χωροχρόνου και έπειτα εξαϋλώνονται. Η θεωρία του Hawking συνοπτικά αναφέρει ότι αν ένα τέτοιο ζεύγος εμφανιστεί πάνω στον ορίζοντα των γεγονότων μίας μαύρης τρύπας, τότε το ένα σωματίδιο θα πέσει στη μαύρη τρύπα και το άλλο θα διαφύγει ελεύθερο. Η απομάκρυνση του δεύτερου από τη μαύρη τρύπα δίνει την εντύπωση ότι έχει εκπεμφθεί από αυτήν, κάνοντας τη να μοιάζει ότι ακτινοβολεί. Το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής είναι ίδιο με το φάσμα της ακτινοβολίας ενός θερμού σώματος, ενώ η θερμοκρασία της είναι αντιστρόφως ανάλογη της έντασης του βαρυτικού της πεδίου (άρα και της μάζας της) (εξίσωση (1-16)). Η ακτινοβολία αυτή ονομάστηκε ακτινοβολία Hawking. [43]–[45]

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi kGM} \quad (1-16)$$

Όσο όμως ακτινοβολεί, τόσο χάνει ενέργεια (άρα και μάζα). Αφού η θερμοκρασία μάλιστα είναι αντιστρόφως ανάλογη της μάζας, όσο η δεύτερη μικραίνει τόσο η πρώτη θα μεγαλώνει, αυξάνοντας το ρυθμό εκπομπής της ακτινοβολίας. Το τελικό στάδιο αυτής της διαδικασίας είναι η μαύρη τρύπα να εξαφανιστεί εντελώς.

Τι συμβαίνει όμως με την πληροφορία την οποία φέρει ένα σώμα το οποίο πέφτει μέσα στη μαύρη τρύπα, έχοντας ως δεδομένο τον νόμο της διατήρησης της Πληροφορίας; Ήδη, με το θεώρημα της «φαλακρής» μαύρης τρύπας, χωρίς παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά δηλαδή, ο νόμος αυτός φαινομενικά παραβιάζεται. Η πληροφορία εκφυλίζεται στη μάζα, τη στροφορμή και το φορτίο της μαύρης τρύπας άρα δεν μπορεί να αναχθεί. Επομένως, δείχνει να χάνεται; Το παράδοξο αρχίζει να ξεδιπλώνεται. Όμως, θα μπορούσε να υποθέσει κανείς ότι η πληροφορία αυτή αποθηκεύεται στο εσωτερικό της μαύρης τρύπας και απλώς εμείς δεν μπορούμε να την εντοπίσουμε, αφού για οτιδήποτε πέσει μέσα στη μαύρη τρύπα δεν υπάρχει δρόμος επιστροφής. Άρα, έστω νοητικά, ο βασικός αυτός νόμος σώζεται. Όταν όμως αποδεικνύεται ότι η μαύρα τρύπα εξαφανίζεται τότε μαζί της δεν μπορεί παρά να

εξαφανιστεί και η πληροφορία των σωμάτων τα οποία έπεσαν σε αυτήν. Ούτε κανείς μπορούσε να υποθέσει ότι η πληροφορία μεταφέρεται με κάποιον τρόπο στην ακτινοβολία της μαύρης τρύπας, έστω σε μετασχηματισμένη μορφή, αφού η εκπομπή των σωματιδίων από τα εν δυνάμει ζεύγη εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της μαύρης τρύπας και τον ρυθμό περιστροφής της. Επομένως, είναι τελείως ανεξάρτητα από το τι αντικείμενο θα πέσει στη μαύρη τρύπα, άρα και από τις πληροφορίες του. Το παράδοξο της απώλειας πληροφορίας ήταν κάτι το οποίο δημιούργησε πολλές φλογερές αντιπαραθέσεις στην επιστημονική κοινότητα.¹²

Διάφορες θεωρίες προσπαθούν να δώσουν μία λύση στο παράδοξο αυτό, το οποίο όμως παραμένει ένα ανοιχτό ερώτημα. Η προσέγγιση με τις p-βράνες αναφέρει ότι οι μαύρες τρύπες συμπεριφέρονται σαν να αποτελούνται από αυτές. Η πληροφορία μπορεί να αποθηκευτεί στην κυματοσυνάρτηση των κυμάτων που υπάρχουν πάνω στις p-βράνες, επομένως δε χάνεται. [46] Ο Zhang υποστηρίζει ότι η ακτινοβολία Hawking μεταφέρει τις πληροφορίες από τη μαύρη τρύπα, μέσω της κβαντικής διάνοιξης σήραγγας. [47] Η ιδέα ότι οι εξισώσεις της βαρύτητας του Einstein απορρέουν από τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ορίζοντα των γεγονότων [48] έδωσε το πάτημα για την ανάπτυξη θεωριών οι οποίες πρεσβεύουν ότι ο χώρος, ο χρόνος και η βαρύτητα είναι αναδυόμενες ιδιότητες μιας κβαντικής θεωρίας της πληροφορίας. Στο πλαίσιο αυτό, οι εξισώσεις για την καμπύλωση του χωροχρόνου του Einstein δε χρειάζονται και μέσω αυτής της προσέγγισης μπορεί ναδειχθεί το πώς οι μαύρες τρύπες διαρρέουν πληροφορίες στο περιβάλλον τους. Στο μοντέλο τους, οι Braunstein και Patra λένε ότι ο ορίζοντας γεγονότων είναι καθαρά κβαντομηχανικής φύσης, στην οποία bits κβαντικού Hilbert χώρου ανοίγουν σήραγγα μέσω ενός φράγματος. [49] Πολύ πρόσφατα, ένα νέο δεδομένο στην επιστημονική κοινότητα έδωσε μία αισιόδοξη πνοή, ότι η λύση του παραδόξου αυτού δεν είναι τόσο μακριά. Ο Hawking δημοσίευσε το 2016 μία εργασία η οποία αναφέρει ότι αφότου εξατμιστεί ολοκληρωτικά μία μαύρη τρύπα, αυτό που θα αφήσει πίσω της δεν είναι ένα κενό ίδιο για κάθε (πρώην) μαύρη τρύπα. Αν αφήσει κανείς στο σημείο εκείνο του χωροχρόνου ένα μαλακό φωτόνιο (soft photon), ένα σωματίδιο δηλαδή φωτός χωρίς όμως ενέργεια, τότε, θα παρατηρήσει κανείς ίδια ενέργεια μεν, αλλά διαφορετική στροφορμή δε στο κενό που άφησε πίσω της κάθε (πρώην) μαύρη τρύπα. Άρα λοιπόν, η πληροφορία η οποία έπεσε στην μαύρη τρύπα μπορεί ενδεχομένως να ανακτηθεί. Μία μαύρη τρύπα δεν είναι λοιπόν φαλακρή, αλλά έχει «μαλακές» τρίχες από χαμηλής ενέργειας κβαντικές διεγέρσεις οι οποίες απελευθερώνουν πληροφορία μετά την εξάτμισή της. [50]

Οι μαύρες τρύπες μας επιβάλλουν να αναμετρηθούμε με μία νοητική πρόκληση: την ύπαρξη πραγμάτων και καταστάσεων στο σύμπαν τα οποία ντε φάκτο απροσπέλαστα. Οι μαύρες τρύπες είναι το πρώτο παράδειγμα ενός φυσικού συστήματος του οποίου η ακριβής κατάσταση, σύμφωνα με τη γενική σχετικότητα, είναι μη προσβάσιμη σε έναν εξωτερικό παρατηρητή. Τίποτα δε διαφεύγει μίας μαύρης τρύπας, ούτε καν το φως. Άρα, δεν μπορούμε να αλληλοεπιδράσουμε με αυτήν, και η αλληλεπίδραση είναι η προϋπόθεση για να γνωρίσεις το οτιδήποτε. Η άγνοια του εξωτερικού παρατηρητή αποκτά άλλη διάσταση. Άρα και η πληροφορία, ως διαδικασία ακύρωσης της άγνοιας

¹² Οι αντιπαραθέσεις αυτές περιγράφονται παραστατικά στο βιβλίο «Ο πόλεμος της μαύρης τρύπας».
[4]

παίρνει και αυτή, με τη σειρά της, επιπλέον χαρακτηριστικά. Ένα δεύτερο στοιχείο είναι εξίσου σημαντικό και συνδέεται με την αντίληψη του συνεχούς στο σύμπαν. Είδαμε ότι η εντροπία, άρα και οι πιθανές διατάξεις – όποιας μορφής και να είναι αυτές, μίας μαύρης τρύπας είναι όχι μόνο πεπερασμένη αλλά και ανάλογη κβαντισμένων μεγεθών (επιφάνεια Planck). Άρα λοιπόν, «η θεμελιακή περιγραφή της ύλης και του χωροχρόνου, τα οποία υποθέτει η κλασική φυσική ότι είναι συνεχή μεγέθη, πρέπει να επαναπροσεγγιστεί, και να αναγνωριστεί ότι η συνεχής αυτή περιγραφή είναι μία χοντρική προσέγγιση μίας απολύτως διακριτής υποκείμενης δομής». [36]

1.1.7 Η πληροφορία στις τηλεπικοινωνίες και η εντροπία του Shannon

Όσα έχουμε περιγράψει μέχρι τώρα αφορούν τη σχέση της έννοιας της πληροφορίας με τη φυσική επιστήμη. Στην εποχή της «πληροφορικής», του διαδικτύου και των υπολογιστών η έννοια αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την τεχνολογία και την μηχανική των επικοινωνιών. Ειδικά η αναφορά στα bit προκαλεί σημειολογικούς συνειρμούς πολύ περισσότερο με τον κόσμο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών παρά με αυτόν της κβαντομηχανικής και της θερμοδυναμικής. Μάλιστα, η εμπέδωση της πληροφορίας σαν φυσικό μέγεθος τις τελευταίες δεκαετίες, ειδικά στη μελέτη της μαύρης τρύπας (βλ. την παραπάνω ενότητα και το παράδοξο της απώλειας πληροφορίας στη μαύρη τρύπα), στηρίχθηκε στην εξοικείωση της επιστημονικής κοινότητας με τον όρο πληροφορία. Η εξοικείωση αυτή οφείλεται στις εργασίες των μηχανικών των τηλεπικοινωνιών και έγινε πραγματικότητα ειδικά αφότου ο όρος αυτός απέκτησε αντικειμενική περιγραφή και ποσοτικοποιήθηκε μαθηματικά. Όλα αυτά δε θα είχαν επιτευχθεί χωρίς τη συνεισφορά του Claude Shannon, ο οποίος θεωρείται ο πατέρας της επιστήμης της πληροφορίας.

Η νοητική ραχοκοκαλιά της θεωρίας της πληροφορίας την οποία περιγράφουμε στηρίζεται στη διαδικασία ακύρωσης της άγνοιας. Όταν είμαστε σίγουροι για κάτι, αυτό δε συνιστά μετάδοση πληροφορίας. Εκτός συγκλονιστικού απροόπτου, κάπου σε ολόκληρη την ήπειρο της Ευρώπης, κάπου θα βρέξει. Στην ηλιόλουστη Ελλάδα όμως είναι πολλές οι μέρες του χρόνου κατά τις οποίες αυτό δε συμβαίνει. Επομένως, από τις προτάσεις «αύριο στην Ευρώπη θα βρέξει» και «αύριο στην Ελλάδα θα βρέξει» αυτή που προσφέρει περισσότερη ποσότητα πληροφορίας είναι σαφώς η δεύτερη. Ο λόγος είναι ότι η πιθανότητα βροχής δεν είναι τόσο μεγάλη όσο σε ευρωπαϊκή κλίμακα, όπου και αγγίζει σχεδόν το 100%. Ήδη χρησιμοποιήσαμε δύο λέξεις / φράσεις κλειδιά: «ποσότητα πληροφορίας» και «πιθανότητα». Αυτές τις έννοιες χρησιμοποίησε και ο Shannon για τη μαθηματική περιγραφή της πληροφορίας του. Ας δούμε όμως ένα ακόμα παράδειγμα: Έστω ότι θέλουμε να δώσουμε οδηγίες σε κάποιον να βρει ένα κρυμμένο δέμα σε ένα πάρκινγκ αυτοκινήτων. Ποια από τις παρακάτω οδηγίες θα τον οδηγήσει με μεγαλύτερη πιθανότητα στο δέμα; Αν του πούμε ψάξε δίπλα στο: α) αυτοκίνητο, β) στο κόκκινο αυτοκίνητο, γ) στο αυτοκίνητο μάρκας Fiat με πινακίδες από το Μεσολόγγι (ME... xxxx); Σαφώς η σωστή επιλογή είναι η τρίτη (εκτός και αν το πάρκινγκ βρίσκεται στο Μεσολόγγι!). Ο λόγος είναι ότι είναι το πιο σπάνιο ενδεχόμενο. Σίγουρα ένα πάρκινγκ θα έχει αυτοκίνητα, και εκτός απροόπτου (αν για παράδειγμα το πάρκινγκ αφορά μία μάζωξη συντοπιτών) τα κόκκινα αυτοκίνητα είναι πολύ περισσότερα από όσα έχουν πινακίδες από μία μικρή πόλη όπως το Μεσολόγγι. Όσο μικρότερη πιθανότητα έχει να συμβεί ένα ενδεχόμενο τόσο μεγαλύτερη πληροφορία φέρει. Τη σύνδεση αυτή της

πιθανότητας με την ποσότητα πληροφορίας έκανε ο Shannon. [1] Όταν είμαστε σίγουροι για την έκβαση ενός ενδεχομένου, όταν η πιθανότητά του δηλαδή είναι 1, τότε δεν έχουμε καθόλου πληροφορία. Όσο μικραίνει όμως η πιθανότητα, η πληροφορία αυξάνεται. Η ρίψη ενός κέρματος (1/2 πιθανότητα να προκύψει κορώνα ή γράμματα) φέρει λιγότερη πληροφορία από ότι αυτή του ζαριού που έχει έξι ενδεχόμενα (1/6 πιθανότητα). Ο Shannon περιέγραψε μαθηματικά και τα μη ισοπίθανα ενδεχόμενα. Αν τα ενδεχόμενα δεν είναι ισοπίθανα, κάποιο από αυτά είναι πιο πιθανό να συμβεί από τα άλλα. Τότε η πληροφορία μειώνεται. Για παράδειγμα, αν η μετεωρολογική στατιστική αναφέρει ότι τις μισές μέρες του Μαρτίου βρέχει και τις υπόλοιπες όχι (πιθανότητα 0,5, άρα ισοδύναμα ενδεχόμενα), ενώ του Ιουνίου τις 3 από τις 30 (πιθανότητα 0,1), τότε η αβεβαιότητα, ο βαθμός άγνοιας δηλαδή, είναι μεγαλύτερος τον Μάρτιο. Το μετεωρολογικό δελτίο του Μαρτίου αναφορικά με το ζήτημα βροχή ή όχι βροχή προσφέρει περισσότερη πληροφορία. Στην πραγματικότητα, ο Shannon δεν έδωσε επακριβώς το μέτρο της πληροφορίας, αλλά το αντίθετό της, το μέτρο της αβεβαιότητας, το οποίο το ονόμασε εντροπία¹³ και δίνεται από τον τύπο:

$$S = - \sum_{1}^n (p_n \log p_n) \quad (1-17)$$

Η εντροπία του Shannon περιλαμβάνει την αβεβαιότητα για μία καλά διατυπωμένη ερώτηση (Q), και τη γνώση την οποία συνεπάγεται η ερώτηση αυτή (X). Επομένως, συμβολίζεται ως εξής: S(Q|X). Μετά τη μετάδοση ενός μηνύματος η γνώση αυτή αλλάζει (X'). Πληροφορία είναι επί της ουσίας το μέτρο μείωσης της αβεβαιότητας. Επομένως:

$$I = S(Q|X) - S(Q|X') \quad (1-18)$$

1.1.8 «Ζωή = Ύλη + Πληροφορία». Η πληροφορία στη βιολογία

Οι ζωντανοί οργανισμοί (από τα βακτήρια και τους μικροοργανισμούς μέχρι τα ανώτερα θηλαστικά), από μηχανική σκοπιά, είναι μηχανισμοί εξαιρετικά πολύπλοκοι, ικανοί να επιτελέσουν πολυσύνθετες διεργασίες. Η βιολογία αναμετράται με το ερώτημα του πώς συμπεριφέρονται και ποιοι μηχανισμοί επιτελούνται στους έμβιους οργανισμούς. Ερωτήματα τα οποία συμπυκνώνονται στο «Τι κάνει η ζωή». Ο Schrödinger, αξιοποιώντας τα εργαλεία της φυσικής, προσπάθησε να αναμετρηθεί με ένα ερώτημα ανώτερου επιπέδου: «Τι είναι ζωή». [51] Τι είναι αυτό που διαφοροποιεί την ύλη από τη ζώσα ύλη; Η επιστημονική απόσταση μεταξύ φυσικής και βιολογίας εδράζεται στην έννοια του σκοπού. Ενώ τα αντικείμενα τα οποία μελετά η φυσική απλώς υπόκεινται σε φυσικούς νόμους, τα αντικείμενα που μελετά η βιολογία είναι παράγωγα

¹³ Όταν ερωτήθηκε ο Shannon το λόγο για τον οποίον επέλεξε το όνομα αυτό, παρά το γεγονός ότι ο όρος αυτός είχε ήδη χρησιμοποιηθεί από τον Boltzmann στη θερμοδυναμική το 1864, απάντησε: «Η μεγαλύτερή μου ανησυχία ήταν το πώς θα το ονομάσω. Σκέφτηκα να το ονομάσω «πληροφορία», αλλά η λέξη αυτή χρησιμοποιείται υπερβολικά πολύ, επομένως, αποφάσισα να το ονομάσω «αβεβαιότητα». Όταν το συζήτησα αυτό με τον John von Neumann, αυτός μου είπε, «Πρέπει να το ονομάσεις εντροπία, για δύο λόγους. Πρώτον, η συνάρτηση αβεβαιότητάς σου έχει ήδη εισαχθεί στη στατιστική μηχανική με τον όρο εντροπία, άρα έχει ήδη όνομα. Δεύτερον, και πιο σημαντικό, κανείς δεν ξέρει τι πραγματικά είναι η εντροπία, άρα σε ένα debate θα έχεις πάντα το πλεονέκτημα». [239]

εκατομμυρίων χρόνων εξέλιξης και φέρεται να έχουν στόχο και σκοπό (π.χ. αυτοσυντήρηση, αναπαραγωγή, απόκριση στα ερεθίσματα, μεταβολισμός κ.λπ.). Η γεφύρωση αυτού του κενού, δηλαδή η εγκόλπωση των βιολογικών στα φυσικά φαινόμενα, αποτελεί μία σύγχρονη νοητική πρόκληση. Ο σύνδεσμος μεταξύ της μη-ζωής και της ζωής εντοπίζεται στη διαθεματική σύνδεση της βιολογίας, της φυσικής, των υπολογιστών και των μαθηματικών, με την «πληροφορία» να αποτελεί την έννοια κλειδί. Μέχρι τώρα το κάδρο της βιολογίας περιορίζεται, ως επί το πλείστον, στην ανατομία και φυσιολογία. Αυτό το κάδρο διευρύνεται με τη μελέτη της πληροφορίας ως παράγοντα που προκαλεί αλλαγές. Πιο συγκεκριμένα, ερευνώνται οι νόμοι οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν σε ένα κοινό πλαίσιο την πληροφορία, την ενέργεια, τη θερμότητα και το έργο, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή στους ζωντανούς οργανισμούς, από το επίπεδο του DNA, μέσω των μοριακών μηχανισμών, ως το επίπεδο της νευροεπιστήμης και της κοινωνικής οργάνωσης [2] Ενώ η βιολογία ως επί το πλείστον επεξεργάζεται τη χημική, υλική, μοριακή πολυπλοκότητα η οποία ενυπάρχει στους ζωντανούς οργανισμούς (το hardware της ζωής), ενυπάρχει μέσα σε αυτούς και η πληροφοριακή πολυπλοκότητα (το software της ζωής). Μέσω αυτής οι οργανισμοί αναπαράγονται, επιτελούν πολύπλοκες διαδικασίες, κινούνται αυτόνομα, οργανώνονται, αλληλοεπιδρούν τότε εποικοδομητικά και τότε ανταγωνιστικά με τους υπόλοιπους οργανισμούς και το περιβάλλον τους, υπόκεινται σε εξελικτικές διαδικασίες. Μέσα από τις άπειρες δυνατότητες (αταξία), η ζωή αποτελεί μίας μορφής οργάνωση (τάξη). Η ζωή αντιστέκεται στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο.

Κάθε επιστημονική διαδικασία έχει στον πυρήνα της τη μέτρηση, γι' αυτό, κάθε συγκροτημένη μεθοδολογία ορίζει τις δικές της μετρικές. Ένα ακανθώδες ερώτημα είναι το αν υπάρχει η δυνατότητα να οριστεί μία μετρική της ζωής. Μπορεί να μετρηθεί η ζωή; Μπορεί να οριστεί ένας δείκτης του πόσο ζωντανό είναι κάτι; Μπορούμε, έστω, να κατηγοριοποιήσουμε ένα σύστημα / σώμα ως «πολύ μακριά από το να θεωρηθεί ως ζωντανό», ως «σχεδόν ζωντανό», «ζωντανό» ή «κάποτε ζωντανό μα τώρα νεκρό»; Ποιοι μπορεί να είναι οι μετρήσιμοι δείκτες της βιολογικής δραστηριότητας; [2] Αυτής της μορφής τα ερωτήματα απασχολούν τις ερευνητικές ομάδες οι οποίες στέλνουν αποστολές στο διάστημα, καθώς εξετάζουν αν στο διάστημα υπάρχουν μορφές ζωής αλλά και τι είδους μορφές ζωής μπορεί αυτό να φιλοξενήσει. Οι αστροβιολόγοι αντιμετωπίζουν τα εξωγήινα περιβάλλοντα ως «χημικά εργαστήρια» στα οποία μπορούν εν δυνάμει να αναπτυχθούν συνθήκες ζωής. Αυτή η διαδικασία προσθέτει πολύτιμα ίχνη απαντήσεων στην ερώτηση του τι είναι ζωή. Οι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις πόσο απέχουν από το να θεωρηθούν ως ζωντανοί οργανισμοί και πόσο μοιάζουν με τις πρώτες μορφές ζωής στη γη; Συγγενική είναι η μεταφορά της βιολογικής εξέλιξης ως το «βουνό της απιθανότητας» (Mount Improbable). [52] Στο βουνό αυτό οι εξελικτικοί μας πρόγονοι ήταν σε χαμηλότερο επίπεδο. Πέρασαν πολλά εκατομμύρια χρόνια εξέλιξης ώστε να αναπτυχθούν ακόμα πιο πολύπλοκες μορφές ζωής, όπως ο άνθρωπος), οι οποίες βρίσκονται σε ψηλότερο «υψόμετρο». (μεγαλύτερη χημική πολυπλοκότητα) Τι συμβαίνει όμως στους πρόποδες του βουνού; Ποια ήταν η μορφή των οργανισμών στα πρώιμα στάδια στους πρόποδες του βουνού (ζωντανοί οργανισμοί) και πώς οι οργανισμοί στην πεδιάδα, ακριβώς λίγο πριν τους πρόποδες (μη ζωντανοί οργανισμοί); Πόσο μακριά απέχουν οι μορφές ύλης και οι χημικές ενώσεις από τους πρόποδες του βουνού αυτού;

Ο βαθμός της χημικής πολυπλοκότητας όμως δεν είναι επαρκής δείκτης ζωής. Για παράδειγμα, ένα προσφάτως πεθαμένο ζώο είναι (σχεδόν) εξίσου χημικά πολύπλοκο με ένα ζωντανό. Μπορεί η ζωή να εντοπιστεί μόνο μέσω του χημικού της αποτυπώματος; Η ζωή δεν είναι απλώς «εν ζωή πράγματα» αλλά είναι πρωτίστως μία διαδικασία.¹⁴ Για είναι δυνατή αυτή η διαδικασία χρειάζεται ένα πληροφοριακό εγχειρίδιο. Αυτό το παρέχει το γονιδίωμα, το οποίο κωδικοποιείται στα μόρια του DNA. Η ζωή σε όλες τις μορφές στηρίζεται στη λειτουργία των πρωτεϊνών. Οι οδηγίες για την παρασκευή των πρωτεϊνών αυτών είναι κωδικοποιημένες στο DNA, μέσω συγκεκριμένων αλληλουχιών των τεσσάρων αζωτούχων βάσεων των νουκλεοτιδίων οι οποίες συγκροτούν τα μακρομόρια του DNA (A: αδενίνη, C: κυτοσίνη, G: γουανίνη, T: θυμίνη). Διαφορετικοί συνδυασμοί κωδικοποιούν διαφορετικές πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από τα αμινοξέα και οι χημικές ιδιότητες της πρωτεΐνης εξαρτώνται από την αλληλουχία των αμινοξέων της. Υπάρχουν 20 (ή 21) γνωστά αμινοξέα. Κάθε ένα από αυτά κωδικοποιείται από συνδυασμό τριών αζωτούχων βάσεων. Οι τριπλέτες των αζωτούχων βάσεων είναι 64 (4^3), υπεραρκετές για την κωδικοποίηση των αμινοξέων. Κάποια αμινοξέα κωδικοποιούνται από περισσότερες από μία τριπλέτες, ενώ κάποιες τριπλέτες κωδικοποιούν διαδικασίες, όπως π.χ. το σταμάτημα. Οι βασικές δομικές μονάδες οι οποίες συγκροτούν τον πληροφοριακό κώδικα της ζωής αφορούν κάθε μορφής ζωή και είναι τόσο παλιές όσο και το φαινόμενο ζωή.

Το DNA δεν είναι η μόνη «αρχαία» πολύπλοκη μοριακή οργάνωση η οποία συναντάται μέχρι σήμερα (π.χ. κάποιοι κρύσταλλοι). Η σημαντική διαφορά των έμβιων οργανισμών είναι ότι βρίσκονται πολύ μακριά από τη θερμοδυναμική ισορροπία με το περιβάλλον τους. Ενώ ένας κρύσταλλος είναι αδρανής, ένας ζωντανός οργανισμός είναι σε συνεχή ανταλλαγή ενέργειας και ύλης με το περιβάλλον του (μεταβολισμός). Για να παραμείνει στη ζωή καταναλώνει ενέργεια (π.χ. φωτοσύνθεση ή κατανάλωση φαγητού) και επιστρέφει στο περιβάλλον κάτι υπό μορφή ενέργειας ή/και ύλης (π.χ. οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, περιττώματα, θερμότητα). Όταν ο οργανισμός πεθαίνει τότε καταλήγει σε θερμοδυναμική ισορροπία με το περιβάλλον του. Οι έμβιες όμως δεν είναι οι μοναδικές «καταναλωτικές δομές» (dissipative structures), όρος ο οποίος δόθηκε από τον Πιγια Prigogine για να περιγράψει δομές οι οποίες εμφανίζουν αυθόρμητα οργανωμένη πολυπλοκότητα, ακόμα και μακριά από τη θερμοδυναμική ισορροπία. [53] Οι πρωτεΐνες είναι επιφορτισμένες με την περισσότερη και ουσιαστικότερη χημική δραστηριότητα των έμβιων οργανισμών, επιτελώντας ως επί το πλείστον τη μεταβολική

¹⁴ Η ζωή, όπως τη γνωρίζουμε σε γήινο επίπεδο, διακρίνεται από τρία βασικά σημεία: τα γονίδια, τα κύτταρα και τον μεταβολισμό. Η εξελικτική θεωρία αναφορικά με την καταγωγή της ζωής έπρεπε να αποφανθεί ποιο από τα τρία προηγείτο και λειτούργησε ως το όχημα για να αναπτυχθούν τα υπόλοιπα δύο και ως εκ τούτου και η ζωή η ίδια. Οι ενδείξεις προκρίνουν τα κύτταρα ως τους «δοκιμαστικούς σωλήνες» στους οποίους οι φύση επεξεργάστηκε την πολύπλοκη οργανική χημεία. Η θεωρία της εξέλιξης παράλληλα προϋποθέτει την ύπαρξη μιας μονάδας. Ο πληθυσμός πολλών τέτοιων μονάδων είναι το υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα σημειωθεί η εξέλιξη. Πρόσφατα, γεννήθηκε η άποψη ότι πολύπλοκες χημικές ενώσεις είχαν συγκροτήσει μεταβολικούς κύκλους και δίκτυα πριν την ύπαρξη κυττάρων, μέσω χημικής αυτο-οργάνωσης σε μεγάλη κλίμακα (π.χ. στους ωκεανούς). Έπειτα, ακολούθησε η πλαισίωση αυτών των διαδικασιών σε αυτά που αναγνωρίζουμε σήμερα ως κύτταρα. Αυτή η προ κυτταρική φάση ενδέχεται να είχε περιοριστεί σε κατάλληλα από θερμοδυναμικής άποψης περιβάλλοντα, όπως τα ηφαίστεια, τα βάθη των ωκεανών ή ακόμα και ολόκληροι πλανήτες. Η ζωή ενδέχεται να είναι λοιπόν ένα γεωλογικό φαινόμενο πλανητικής κλίμακας [240]

δραστηριότητα. Από μόνες τους όμως δεν είναι ικανές να επιτελέσουν το ρόλο τους. Η οργάνωση που επιτελείται στο φαινόμενο ζωή προϋποθέτει μια διαδικασία εντολής και ελέγχου (η οποία επιτελείται από τα νουκλεοτίδια, DNA και RNA). Περιγραφικά, μπορεί να ειπωθεί ότι τα νουκλεοτιδικά οξέα αποθηκεύουν τις πληροφορίες για το «πλάνο της ζωής» ενώ οι πρωτεΐνες είναι αυτές οι οποίες λειτουργούν τον οργανισμό. Παρατηρούμε ότι η χημική πολυπλοκότητα δεν αρκεί. Προϋπόθεση είναι μία χημεία η οποία επιδέχεται επίβλεψη (supervised) και είναι πληροφορούμενη (informed), με άλλα λόγια χρειάζεται χημεία συν πληροφορία. [2] Η πληροφορία θέτει λοιπόν τη διαχωριστική γραμμή μεταξύ ζωής και μη ζωής. [54], [55] Παράδειγμα της πληροφοριακής διάστασης της βιολογίας είναι η κληρονομικότητα, η οποία αποτελεί κλειδί της αναπαραγωγής.

Πριν καν ανακαλυφθεί η ύπαρξη του DNA, αξιοσημείωτη είναι η διαίσθηση του Schrödinger, αναφορικά με την ύπαρξη διαδικασιών αποθήκευσης, επεξεργασίας και μετάδοσης πληροφορίας σε μοριακό επίπεδο μέσω των κυττάρων. Πίστευε μάλιστα ότι η πληροφορία αυτή αποθηκεύεται σε μίας μορφής «απεριοδικού κρυστάλλου». Ο κρύσταλλος υποδηλώνει την ύπαρξη μιας σταθερής και παράλληλα πολύπλοκης δομής. Η α-περιοδικότητα (σε αντιδιαστολή με την περιοδικότητα των κοινών κρυστάλλων, όπως τα διαμάντια ή το αλάτι) υποδηλώνει τη δυνατότητα συγκρότησης πολλαπλών μορφών (ποικιλία στη δομή). [56] Η προσέγγισή του αποτέλεσε έμπνευση για τους Watson και Crick στην ανακάλυψη της δομής του DNA.

Στις μέρες μας είναι πλέον κοινός τόπος ότι η ζωή στηρίζεται στην αντιγραφή, στη μεταγραφή και στη μετάφραση της γενετικής πληροφορίας.

1.2 Πληροφορία και Οργάνωση

Στην υποενότητα αυτή θα εξεταστεί η σχέση της πληροφορίας με τα δομικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και ο τρόπος με τον οποίο η ροή πληροφορίας επιβάλλει οργανώσεις.

1.2.1 Η πληροφορία ως διαφορά. Η έννοια του δεδομένου, τα data και τα bits

Στην σύγχρονη ψηφιακή εποχή, την εποχή εκτός των άλλων των data management, big data, data mining, είμαστε εξοικειωμένοι με τη θεώρηση των data ως δομικών μονάδων της πληροφορίας. Τι συνιστά όμως ένα datum και γιατί αυτό φέρει εν δυνάμει πληροφορία; Για να απαντήσουμε στο ερώτημα αυτό πρέπει να εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο εμφανίζεται η πληροφορία. Ας πάρουμε για παράδειγμα δύο μονοζυγωτικά δίδυμα, τα οποία εμφανίζουν εκπληκτική ομοιότητα. Τι πληροφορίες χρειάζονται για να μπορείς να διακρίνεις το ένα παιδί από το άλλο; Σίγουρα πρόκειται για κάποιες λεπτομέρειες στην εμφάνισή τους, όπως π.χ. μία ελιά ή ένα σημάδι. Η πληροφορία λοιπόν εντοπίζεται σε εκείνο το στοιχείο στο οποίο εκδηλώνεται η διαφοροποίηση των δύο κατά τα άλλα πανομοιότυπων δίδυμων. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πληροφορία εμφανίζεται στις διαφορές, ή ισοδύναμα, ότι οι διαφορές είναι δομικοί λίθοι της πληροφορίας. Αυτή η αναγνώριση έδωσε δύο ορισμούς της πληροφορίας ως μία διάκριση η οποία προκαλεί μία διαφορά (a distinction that makes a difference) [57] και

ως μία διαφορά η οποία προκαλεί μία διαφορά (a difference that makes a difference) [58]. Είτε θεωρούμενη ως διάκριση (distinction) είτε ως διαφορά (difference), αναγκαία προϋπόθεση της ανάδυσης της πληροφορίας είναι η ύπαρξη στοιχείων τα οποία σπάνε την ομοιομορφία. Οι διαφοροποιήσεις αυτές είναι τα data από τα οποία συγκροτείται η πληροφορία. Το ένα datum είναι η μη περεταίρω αναγώγιμη διαφορά, π.χ. η ύπαρξη σημαδιού σε έναν από τους δύο διδύμους, ή μία νότα σε σχέση με τη σιωπή, ή ένας χαρακτήρας σε μία λευκή σελίδα. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφορά δε συνεπάγεται αυτόματα την ύπαρξη πληροφορίας. Αυτό αποτυπώνεται στο δεύτερο τμήμα των προαναφερθέντων ορισμών (... that makes a difference). Η πληροφορία προκύπτει από εκείνες τις διαφορές οι οποίες μπορούν να παράξουν εν δυνάμει νέες διαφορές. Στο παράδειγμα των πανομοιότυπων διδύμων οι οποίοι ξεχωρίζουν από ένα σημάδι, είναι προφανές ότι θα υπάρχουν επιπλέον διαφορές, αν και μη ορατές με γυμνό μάτι, οι οποίες δε συμβάλουν στη διάκριση του ενός από τον άλλον.

Τα data, ως διαφορές, εντοπίζονται σε τρεις κατηγορίες [13]. Η πρώτη εντοπίζεται στην απουσία ομοιομορφίας στον πραγματικό φυσικό κόσμο. Ακόμα και στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως «δεδομένα» (dedomena). Τα δεδομένα δεν έχουν υποστεί κάποια ερμηνεία ούτε είναι αποτέλεσμα της παρατήρησης ή κάποιας γνωσιακής διαδικασίας, αλλά αποτελούν κάθε φυσική έλλειψη ομοιομορφίας. Τα data όμως δεν έχουν υποχρεωτικά υλική υπόσταση. Η δεύτερη κατηγορία εντοπίζεται στη διαφορά ομοιογένειας μεταξύ δύο ή περισσότερων καταστάσεων σε ένα σήμα ή σε ένα σύστημα. Η τρίτη κατηγορία εντοπίζεται στη διαφορά ομοιογένειας μεταξύ δύο συμβόλων.

Με κριτήριο τη λειτουργικότητά τους τα data ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες [13]:

- **Πρωταρχικά data (Primary data):** Πρόκειται για τα δεδομένα τα οποία εγγράφουν την πληροφορία αυτή καθ' αυτή σε μία βάση δεδομένων και αντιστοιχούνται ευθέως με την πληροφορία την οποία αναπαριστούν (π.χ. το αναμμένο λαμπάκι το οποίο υποδηλώνει χαμηλή στάθμη βενζίνης).
- **Δευτερεύοντα data (Secondary data):** Πρόκειται για το αντίστροφο των πρωταρχικών δεδομένων και κωδικοποιούν την πληροφορία με την απουσία τους. Για παράδειγμα, η απουσία θορύβου σε έναν αστικό δρόμο υποδηλώνει χαμηλό κυκλοφοριακό φορτίο.
- **Μετα-data (Metadata):** Πρόκειται για ενδείξεις της φύσης των data. Περιγράφουν τις ιδιότητες τις οποίες τα (πρωταρχικά) data προσδιορίζουν.
- **Λειτουργικά data (Operational data):** Τα δεδομένα αυτά αφορούν την απόδοση ενός συστήματος.
- **Παράγωγα data (Derivative data):** Αφορούν δεδομένα τα οποία προκύπτουν από τη μελέτη και την επεξεργασία άλλων δεδομένων τα οποία λειτουργούν ως έμμεσες πηγές προς την αναζήτηση μοτίβων και στοιχείων που περιγράφουν διαφορετικά φαινόμενα από αυτά τα οποία τα αρχικά δεδομένα περιγράφουν. Παράδειγμα αποτελούν τα δεδομένα αγορών από πιστωτική κάρτα τα οποία δε σχετίζονται με την οικονομική συναλλαγή αυτή καθ' αυτή, αλλά για παράδειγμα ως στοιχεία χωρικού προσδιορισμού του ατόμου.

Μια επιπλέον διάκριση των data είναι τα συνεχή (αναλογικά) και τα διακριτά (ψηφιακά). Τα συνεχή (όπως αυτά τα οποία είναι εγγεγραμμένα σε μία βιντεοκασέτα VHS) αποθηκεύουν πληροφορία. Τα διακριτά (όπως αυτά οποία είναι εγγεγραμμένα στη μνήμη ενός υπολογιστή) αποθηκεύουν πληροφορία κωδικοποιώντας τη. Η πιο απλή, αλλά και συνήθης, εκδοχή των διακριτών data είναι αυτά των οποίων η κατάσταση μπορεί να πάρει δύο τιμές (πάνω / κάτω, άσπρο / μαύρο, αρσενικό / θηλυκό, κ.ο.κ.). Πρόκειται για τα γνωστά μας bit (binary digits) τα οποία παίρνουν είτε την τιμή 0 (απουσία σήματος) είτε την τιμή 1 (παρουσία σήματος). Αυτή η σαφής, δυαδική κατάσταση καθιστά δυσκολότερη την ύπαρξη λαθών στην αποθήκευση, προσπέλαση και αξιοποίηση των δεδομένων, σε σχέση με μία περισσότερο πολύπλοκη διακριτή, πολλά δε μάλλον στη συνεχή περίπτωση. Επίσης, τα bits αναπαρίστανται παράλληλα τόσο σημασιολογικά (Σωστό / Λάθος), όσο λογικο-μαθηματικά (0 / 1) και φυσικά (διακόπτης: ανοιχτός / κλειστός, ηλεκτρικό κύκλωμα: χαμηλή / υψηλή τάση), παρέχοντας το έδαφος στο οποίο συνυπάρχουν η σημασιολογία, η μαθηματική λογική, η φυσική, η τεχνολογία των κυκλωμάτων και η θεωρία της πληροφορίας. [13]

1.2.2 Πληροφορία και νόημα. Ο Γενικευμένος Ορισμός της Πληροφορίας (GDI) και η κριτική στη Θεωρία της Πληροφορίας του Shannon

Στο μεθοδολογικό πλαίσιο της παρούσης διατριβής ο Γενικευμένος Ορισμός της Πληροφορίας (General Definition of Information – GDI) [59] απαντάει στις προκλήσεις του αντικείμενου, καθότι συνδέει την πληροφορία με τα data – απαραίτητη σύνδεση για εφαρμογές πληροφορικής και μηχανικής – και με το νόημα (meaning) – απαραίτητη σύνδεση για τη θεώρηση της πληροφορίας ως αιτιακό παράγοντα (causal agent). Ακροθιγώς, για την προσέγγιση αυτή *πληροφορία = data + νόημα*. [60] Σύμφωνα με τον GDI, σ είναι μία πληροφοριακή ένδειξη, έχουσα σημασιολογικό νόημα (semantic content) αν και μόνο αν επαληθεύονται τα παρακάτω τρία κριτήρια [13]:

- GDI.1: Το σ αποτελείται από n data, με $n \geq 1$
- GDI.2: Τα data είναι καλώς σχηματισμένα (well formed)
- GDI.3: Τα καλώς σχηματισμένα data φέρουν νόημα (are meaningful).

Το πρώτο κριτήριο υποδηλώνει ότι η πληροφορία εγγράφεται και κωδικοποιείται σε data (βλέπε ενότητα 1.2.1) και ότι πληροφορία χωρίς data (data-less) είναι αξιωματικά αδύνατη.

Το δεύτερο κριτήριο υποδηλώνει ότι η ύπαρξη data δεν είναι αρκετή συνθήκη για τη διαμόρφωση πληροφορίας με σημασιολογικό περιεχόμενο. Η πληροφορία κωδικοποιείται σε οργανώσεις των data, σε αρχιτεκτονικές δομές οι οποίες υπακούν στους συντακτικούς κανόνες (syntax) που ορίζει το κάθε σύστημα. Το συντακτικό, αν και όρος που προέρχεται από τη γλωσσολογία, μπορεί να διευρυνθεί ως αυτό το οποίο ορίζει τη δομή, την κατασκευή, τη σύνθεση και την οργάνωση των συστατικών ενός συστήματος. Συστήματα των οποίων τα συστατικά τους ορίζεται μέσω συντακτικών σχέσεων μπορεί να είναι ένας πίνακας ζωγραφικής, ένα μουσικό έργο, μία παρτίδα σκάκι, ένα μηχανικό σύστημα, μία κοινωνική οργάνωση, ή μία χωρική οργάνωση (π.χ. ένα αρχιτεκτονικό οικοδόμημα). Η ύπαρξη μίας δομής η οποία υπακούει σε συντακτικούς κανόνες φέρει εν δυνάμει πληροφορία με νόημα.

Το τρίτο κριτήριο υποδηλώνει ότι τα καλώς οργανωμένα data, πρέπει να είναι σύμφωνα με βάση το τι το σύστημα αξιολογεί ως έχον νόημα. Στη γλωσσολογία για παράδειγμα, η πρόταση «ο Γιώργος παίζει τραπέζι» είναι συντακτικά ορθή (Υποκείμενο, Ρήμα, Αντικείμενο) αλλά εφόσον το τραπέζι δεν είναι κάτι που μπορεί να παιχτεί (όπως π.χ. το ποδόσφαιρο) είναι άνευ νοήματος (σημασιολογικού περιεχομένου – semantic content). Το σημασιολογικό περιεχόμενο όμως, όπως και παραπάνω, δεν είναι προνόμιο των γλωσσικών συστημάτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μία ευρύτερη έννοια από κάθε οργανωμένο σύστημα, κώδικα ή/και γλώσσα. Ένα καθημερινό παράδειγμα μη γλωσσικής σημασιολογίας είναι οι οδηγίες χρήσης ενός αντικειμένου σε μορφή εικόνων (και όχι κειμένου). Αυτές, πρέπει να είναι κατανοητές για τον χρήστη (σημασιολογικά σύμφωνες με το σύστημα χρήστη – αντικείμενο). Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο ήχος που βγάζει ένας συναγερμός. Αν σε περίπτωση κινδύνου (π.χ. πυρκαγιάς) ο ήχος του συναγερμού είναι χαμηλής έντασης, γλυκός και ήρεμος (π.χ. προερχόμενος από μία άρπα), ενώ θα ήταν συντακτικά σωστός (θα αναπαρήγαγε τη δομή φωτιά – μη φωτιά μέσω της δομής ήχος – μη ήχος), αλλά θα ήταν σημασιολογικά άνευ νοήματος, αφού δε θα προϋδέαζε τον ακροατή για τον κίνδυνο που επέρχεται.

Πρέπει να επισημανθεί ότι μία δομή δύναται να φέρει πληροφορία με νόημα ανεξάρτητα από το σε ποιον απευθύνεται και το κατά πόσον μπορεί να ερμηνευτεί από αυτόν. Για παράδειγμα, ένα μενού ενός εστιατορίου γραμμένο στα κινέζικα φέρει σαφώς πληροφορία, ανεξάρτητα από το κατά πόσον ο αναγνώστης γνωρίζει τη γλώσσα. Αντίστοιχα, κείμενα αρχαίων γλωσσών οι οποίες δεν έχουν αποκωδικοποιηθεί φέρουν πληροφορία με νόημα ανεξάρτητα από το κατά πόσον δεν μπορεί κανείς να γνωρίζει τι αναφέρεται στα κείμενα αυτά. Η δυνατότητα ερμηνείας αφορά στην προσβασιμότητα της πληροφορίας και όχι στην ύπαρξη νοήματος. Αντίστοιχα, ένας πληροφοριοδοτούμενος ενδέχεται να έρθει αντιμέτωπος με υπερβολικά πολλή πληροφορία την οποία δεν μπορεί να αποκωδικοποιήσει (π.χ. ένας καθηγητής στον οποίον υποβάλλει ερώτηση ταυτόχρονα κάθε ένας από τους φοιτητές στο αμφιθέατρο). Αυτό αφορά τη δυνατότητα διαχείρισης της πληροφορίας και όχι την ύπαρξη νοήματος.

Η πληροφορία με σημασιολογικό περιεχόμενο έχει δύο εκφάνσεις. Είτε δίνει πληροφορίες για την κατάσταση ενός συστήματος, είτε δίνει οδηγίες για την επιτέλεση μίας διαδικασίας. Η πρώτη κατηγορία μοντελοποιεί, περιγράφει ή αναπαριστά μία κατάσταση. Η δεύτερη περιλαμβάνει έναν ορισμό ή μία υπόθεση εργασίας (έστω ότι η τιμή της μεταβλητής είναι 5), μία πρόσκληση, μία διαταγή, μία κίνηση, μία οδηγία κ.α. [13]

Έχουμε ήδη αναφερθεί στη συνεισφορά του Shannon αναφορικά με την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας (ενότητα 1.1.7). Ενώ όμως ο ίδιος προσέβλεπε σε μία μαθηματική θεωρία της επικοινωνίας (Mathematical Theory of Communication, MTC), η συνεισφορά του καθιερώθηκε ως η Θεωρία της Πληροφορίας (Information Theory, IT). Ενώ για το αντικείμενο των επικοινωνιών η σπουδαιότητα της εργασίας του είναι ιστορική, δεν μπορεί να λειτουργήσει ως ένα γενικευμένο μοντέλο μελέτης της Πληροφορίας. Ο βασικός λόγος είναι ότι δεν υπεισέρχονται σε αυτήν τα ζητήματα που αφορούν τη μετάδοση νοήματος. Η βασική ιδέα της εργασίας του είναι η ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας. Αν μία πηγή είναι προγραμματισμένη να στέλνει το ίδιο μήνυμα κάθε φορά, τότε δεν υπάρχει καμία αβεβαιότητα για το τι περιλαμβάνει το μήνυμα. Η αβεβαιότητα του παραλήπτη είναι μηδενική. Αν το μήνυμα είναι η έκβαση

του ριζίματος ενός κέρματος τότε η αβεβαιότητα είναι η έκβαση μεταξύ δύο καταστάσεων (1 bit). Για τη μαθηματική θεωρία της επικοινωνίας του Shannon όμως, το μήνυμα δεν είναι παρά μία διαδοχή από data, ανεξάρτητα από τη σημασιολογική του αξία και το νόημά του. Αναφέραμε στην αρχή της ενότητας ότι *πληροφορία = data + νόημα*. Με βάση το σχήμα αυτό *data = πληροφορία – νόημα*. Αυτό το οποίο ποσοτικοποιεί η θεωρία αυτή είναι η ανεπάρκεια σε δεδομένα (data deficit) και όχι η πληροφοριακή ανεπάρκεια.

Κάθε μήνυμα (data) που μεταδίδει πληροφορία απαντά σε ένα ερώτημα (query). Η πληροφορία, ως σημασιολογικό περιεχόμενο, μπορεί να περιγραφεί ως *ερώτημα + data*. [13] Για παράδειγμα, το μήνυμα «το φαγητό ήταν νόστιμο» εκφράζεται ως "ήταν το φαγητό νόστιμο" + "ναι". Το σημασιολογικό περιεχόμενο είναι η πληροφορία η οποία δεν έχει ακόμα κωδικοποιηθεί από μία απάντηση. Η μαθηματική θεωρία της επικοινωνίας του Shannon ασχολείται με την επιτυχή μετάδοση των data ανεξαρτήτως ερωτήματος.

1.2.3 Το νόημα ως η μετάδοση της οργάνωσης

Η τάση των συστημάτων είναι, βάση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, προς την αποδιοργάνωση η οποία συνεπάγεται αύξηση της εντροπίας. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνεται ο αριθμός των μικροκαταστάσεων οι οποίες αντιστοιχούν σε μία δεδομένη μακροκατάσταση. Πώς όμως ερμηνεύεται η οργάνωση στα συστήματα κάθε δεδομένη χρονική στιγμή; Πώς εναντιώνονται στην αύξηση της εντροπίας τους; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δίνεται από τη ροή πληροφορίας κατά την αλληλεπίδραση των συστημάτων μεταξύ τους. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συλλογισμό ότι η πληροφορία λειτουργεί ως ο αιτιακός παράγοντας ο οποίος επιβάλλει οργανώσεις. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να θεωρηθεί ως ανταλλαγή «μηνυμάτων». Τα μηνύματα είναι μορφές μοτίβων και οργάνωσης και μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν σύνολα τα οποία έχουν τα ίδια εντροπία. Όπως η εντροπία είναι ένδειξη αποδιοργάνωσης, έτσι και η πληροφορία η οποία φέρουν τα μηνύματα είναι μέσο οργάνωσης. [61] Στο σημείο αυτό πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι η θεωρία της πληροφορίας του Shannon η οποία αναζητά την καλύτερη κωδικοποίηση ενός μηνύματος. Όπως ο ίδιος αναφέρει: «Το θεμελιώδες πρόβλημα της επικοινωνίας είναι η αναπαραγωγή ενός επιλεγμένου μηνύματος αυτούσια από το ένα σημείο στο άλλο. Πολύ συχνά τα μηνύματα φέρουν νόημα: αυτό αναφέρεται ή συσχετίζεται σύμφωνα με ένα σύστημα με συγκεκριμένες φυσικές ή διανοητικές οντότητες. Αυτές οι σημασιολογικές προεκτάσεις της επικοινωνίας είναι άσχετες με το πρόβλημα της τεχνολογίας επικοινωνιών. Η σημαντική διάσταση είναι ότι το μήνυμα επιλέγεται από ένα σύνολο πιθανών μηνυμάτων. Το επικοινωνιακό σύστημα είναι σχεδιασμένο με τρόπο ο οποίος πρέπει να μπορεί να λειτουργήσει για κάθε δυνατή επιλογή, όχι μόνο γι' αυτό το οποίο θα επιλεγεί, από την άποψη του ότι αυτό είναι άγνωστο τη στιγμή του σχεδιασμού του επικοινωνιακού καναλιού. Αν ο αριθμός των μηνυμάτων στο σύνολο αυτό είναι πεπερασμένος, τότε ο αριθμός αυτός ή κάθε μονοτονική συνάρτηση του αριθμού αυτού, μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρηση της πληροφορίας η οποία παράγεται όταν ένα μήνυμα επιλέγεται από το σύνολο μηνυμάτων, με κάθε μήνυμα να είναι ισοδύναμα πιθανό να επιλεγεί.» [1] Η θεωρία του Shannon λοιπόν ασχολείται με την επιτυχή μετάδοση οποιουδήποτε μηνύματος επιλεγεί από ένα προκαθορισμένο σύνολο μηνυμάτων και δεν ασχολείται καθόλου με το νόημα το οποίο

δύναται να φέρει το κάθε μήνυμα. Η «επιλεκτική πληροφορία» (selective information) του Shannon έρχεται σε αντιδιαστολή με τη «δομική πληροφορία» (structural information) η οποία υποδηλώνει τον τρόπο με τον οποίο θα ερμηνευτεί η επιλεκτική πληροφορία. Η δομική πληροφορία συμπεριλαμβάνει σημασιολογία και νόημα ώστε να μπορεί να συμβάλλει στην ερμηνεία της επιλεκτικής πληροφορίας και εξετάζει την επίδραση την οποία έχει η μετάδοσή της στον παραλήπτη. Άλλωστε, το νόημα της πληροφορίας δίνεται από τη διαδικασία η οποία την ερμηνεύει. [62]

Η έννοια του νοήματος δεν εντοπίζεται αποκλειστικά με τις γνωσιακές διαδικασίες στις επικοινωνίες με παραλήπτη έναν άνθρωπο. Η πληροφορία είναι μία διάκριση [57] ή μία διαφορά [58] η οποία κάνει μια διαφορά. Η διαφορά η οποία επιτελείται είναι ταυτόσημη διαδικασία με αυτήν της οργάνωσης. Χωρίς αυτή, καταδικασμένα από τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, τα συστήματα θα εκφυλίζονταν σε ένα αποδιοργανωμένο «χάος». Τα συστήματα τα οποία αλληλοεπιδρούν δεν μπορούν να ερμηνευτούν από τη επιλεκτική πληροφορία του Shannon. Ο βασικός λόγος είναι ότι η επιλεκτική πληροφορία προϋποθέτει ένα πεπερασμένο σύνολο πιθανών μηνυμάτων. Αντίθετα, στα αλληλοεπιδρώντα συστήματα, οι καταστάσεις οι οποίες μπορούν να πάρουν διαμορφώνονται δυναμικά από την αλληλεπίδραση, το σύνολο των οποίων, ως εκ τούτου, δεν μπορεί να είναι πεπερασμένο. Με αφετηρία τους βιοτικούς οργανισμούς, οι Kauffman, Logan, et al συσχετίζουν το νόημα στη μετάδοση δομική πληροφορίας με τους μετασχηματισμούς τους οποίους επιφέρει στην οργάνωση των εμπλεκόμενων συστημάτων. Το νόημα είναι επί της ουσίας η μετάδοση της οργάνωσης. [63], [64] Η πληροφοριακή ροή μεταφέρει τις οδηγίες για τον τρόπο με τον οποίο θα οργανωθεί το κάθε σύστημα (instructional information) και μέσω αυτής ερμηνεύεται η αλληλεπίδραση και η εξέλιξη των συστημάτων. Η πληροφορία είναι ένας καταλύτης διαδικασιών. Σε αντίθεση με την πληροφορία του Shannon η οποία εξετάζει το ποιο είναι το μήνυμα, η δομική πληροφορία εξετάζει το τι κάνει η μετάδοση του μηνύματος. [62]

1.3 Ύλη, Ενέργεια και Πληροφορία

Μετά από αυτή την ιστορική αναδρομή στο ταξίδι της επιστήμης με όχημα την έννοια της πληροφορίας μπορεί να εξάγει κανείς κάποια κομβικά συμπεράσματα. Πρώτα απ' όλα μπορεί κανείς να διακρίνει ότι γύρω στα 1900μ.Χ. συνέβη μία τομή στην επιστημονική σκέψη. Από τον 16ο μέχρι και τον 19ο αι. μ.Χ. υπήρξε μία κοινή «επιστημονική διαίσθηση» αναφορικά με τι είναι «πραγματικότητα». Αυτή η διαίσθηση εδράζονταν στην πεποίθηση ότι ο κόσμος αποτελείται από ύλη και ότι κάθε φυσική ή ανθρώπινη δραστηριότητα προκύπτει από αυτήν, μία ύλη η οποία γίνεται αντιληπτή ως η θεμέλιος λίθος της πραγματικότητας.¹⁵ Στα αυτιά των μη φυσικών η έννοια ύλη είναι

¹⁵ «Η οπτική για τον κόσμο του κλασικού υλισμού (ο οποίος άκμασε μεταξύ του 1650 και του 1900) πρέσβευε ότι όλα τα φυσικά συστήματα δεν είναι παρά μία συλλογή από αδρανή σωματίδια τα οποία είναι απόλυτα συμμορφωμένα με τους ντετερμινιστικούς νόμους. Τα πολύπλοκα συστήματα, όπως οι ζωντανοί οργανισμοί, οι κοινωνίες και οι άνθρωποι, μπορούν, με βάση αυτή την αναγωγική οπτική του κόσμου (reductionist world view), να εξηγηθούν απόλυτα μέσω των υλικών συστατικών τους και των χημικών τους αντιδράσεων». [241]

σαφώς προσδιορισμένη. Είναι αυτό που αγγίζουμε, που βλέπουμε, αυτό που αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας εν γένει. Στον κόσμο της επιστήμης πάντως η έννοια «ύλη» δεν είναι τόσο αντικειμενική. Οι φυσικοί προτιμούν να μιλούν για «μάζα» αντί για «ύλη». Αλλά για ποια μάζα; Την αδρανειακή; Τη βαρυτική; Τη μάζα η οποία συνδέεται με την ενέργεια με βάση την ισοδυναμία του Einstein ($E = mc^2$); Τη μάζα η οποία υπάρχει στο κενό; Και ποιο το νόημα να μιλάμε για μάζα του κενού; Παρατηρούμε ότι τα πράγματα γίνονται πολύπλοκα. Σίγουρα, η ανθρωποκεντρική πρόσληψη της πραγματικότητας είναι μία μόνο εικόνα της ευρύτερης πραγματικότητας.

1.3.1 «Απο-υλοποίηση» της ύλης

Ο McMullin, του οποίου την περιγραφή και συλλογιστική πορεία ακολουθούμε, αναφέρει ότι στον 20ο αι. μ.Χ. συμβαίνει μία ραγδαία «από-υλοποίηση» της ύλης (dematerialization of matter), η οποία είναι απόρροια των τριών επιστημονικών επαναστάσεων οι οποίες χαρακτηρίζουν τον αιώνα αυτό, τη σχετικότητα, την κβαντομηχανική και την κοσμολογία. [65]

Στην ειδική θεωρία της σχετικότητας εισάγεται η ισοδυναμία μάζας και ενέργειας όπως περιγράφεται από τη διάσημη εξίσωση του Einstein ($E = mc^2$). Η ισοδυναμία αυτή προβλέπει ότι η μάζα ηρεμίας μπορεί να μετατραπεί σε ακτινοβολία, με βάση την παραπάνω ισοδυναμία, και το αντίστροφο. Στο παράδειγμα, ας πούμε, της σχάσης και της σύντηξης οι οποίες συμβαίνουν σε ατομικό επίπεδο, το κενό της μάζας το οποίο προκύπτει, «αναπληρώνεται» από την απελευθέρωση ενέργειας σε μορφή ακτινοβολίας καθώς και στην κινητική ενέργεια των σωματιδίων που θα προκύψουν. Αντίστοιχα, αν η ενέργεια είναι αρκετά υψηλή, τότε αυτή μπορεί να δημιουργήσει ζεύγος σωματιδίων. Για παράδειγμα, αν ένα φωτόνιο ακτίνας γ συγκρουστεί με έναν πυρήνα ο οποίος απορροφήσει την ορμή του, τότε δημιουργείται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – ποζιτρονίου. Παύει λοιπόν να υπάρχει η απόλυτη σύνδεση της ύλης με τη μάζα, όπως τουλάχιστον την είχαν στο μυαλό τους οι άνθρωποι με βάση τη νευτώνεια λογική. Κάτι το οποίο δεν έχει μάζα, όπως μία ακτινοβολία, μπορεί να συσχετισθεί, μέσω της ισοδυναμίας ενέργειας – μάζας του Einstein, με μίας μορφής «ύλη». Ο 20ος αι. μ.Χ. έθεσε επί τάπητος την αναγκαιότητα του επαναπροσδιορισμού της έννοιας της «ύλης».

Τομή στην αντίληψη περί ύλης και τη συσχέτισή της με την ενέργεια έθεσε και η γενική θεωρία της σχετικότητας. Ενώ στην κλασική φυσική παράγοντας της βαρύτητας ήταν μόνο η μάζα, στην αντίληψη του Einstein, η καμπυλότητα του χωροχρόνου (της οποίας συνέπεια είναι η βαρύτητα) οφείλεται στη σχετικιστική έννοια του δίπολου «μάζα – ενέργεια». Αυτό ακριβώς περιγράφει η εξίσωση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας του Einstein (Einstein's Field Equation):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad (1-19)$$

Όπου, όπου $R_{\mu\nu}$ είναι ο τανυστής καμπυλότητας του χώρου Ricci, ο όρος R είναι η βαθμωτή καμπυλότητα, ο όρος $g_{\mu\nu}$ είναι ο μετρικός τανυστής, το Λ είναι η κοσμολογική σταθερά, το G είναι η βαρυτική σταθερά του Νεύτωνα, c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό και $T_{\mu\nu}$ ο τανυστής ορμής-ενέργειας. Το αριστερό κομμάτι της εξίσωσης περιγράφει την καμπύλωση του πεδίου, ενώ ο τανυστής του δεξιού κομματιού συμπεριλαμβάνει

τόσο την ενέργεια (κινητική και δυναμική) όσο και τη μάζα ηρεμίας. Επομένως, η παραπάνω εξίσωση πρακτικά περιγράφει τον παρακάτω συλλογισμό [66]:

"καμπυλότητα του χωροχρόνου" = "πυκνότητα ενέργειας και ορμής"

Η ισοδυναμία μάζας ενέργειας στη γενική θεωρία της σχετικότητας ορίζει, για παράδειγμα, ότι ένα φωτόνιο, το οποίο δεν έχει μάζα, λόγω της κινητικής του ενέργειας καμπυλώνει το χωροχρόνο με αποτέλεσμα την εκδήλωση βαρυτικών φαινομένων, όπως ακριβώς θα έκανε και ένα σώμα με μάζα.

Η απομάκρυνση από την παραδοσιακή αντίληψη περί ύλης συνεχίστηκε και με τα νέα στοιχεία τα οποία εισήγαγε η κβαντομηχανική. Πρώτα απ' όλα η διπλή φύση του φωτός, η θεώρηση του ως κύμα και ως σωματίδιο δηλαδή, συσχετίζει την έννοια της ύλης (σωματίδιο) με αυτή της ενέργειας (κύμα). Μάλιστα, όσον αφορά το φωτόνιο, πρόκειται για μία ύλη άνευ μάζας. Κάτι το οποίο αντιβαίνει ξεκάθαρα με την αντίληψη περί ύλης που έχουν οι άνθρωποι στην καθημερινότητά τους. Η ιδέα αυτή, της κυματικής συμπεριφοράς της ύλης δηλαδή, γενικεύτηκε με τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό του de Broglie. Λόγω της αρχής της απροσδιοριστίας του Heisenberg μάλιστα η θέση και ο ορμή των σωματιδίων δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, παρά μόνο η πιθανότητα. Αυτό το στοιχείο ήταν ένα ακόμα λιθαράκι στον τοίχο ο οποίος διαχώριζε την παλιά με τη νέα αντίληψη περί ύλης. Ακόμα πιο μεγάλη ανατροπή φέρνει η άποψη της σχολής της Κοπεγχάγης στην κβαντομηχανική, η οποία πρεσβεύει ότι τα σωματίδια είναι σε καθεστώς υπέρθεσης και τα χαρακτηριστικά τους λαμβάνουν συγκεκριμένη τιμή μόνο άπαξ και μετρηθούν. «Χοντρικά, θα μπορούσε να πει κανείς, ότι τα ηλεκτρόνια φαίνεται να ταξιδεύουν σαν κύματα αλλά να αλληλοεπιδρούν σαν σωματίδια». [65]

Όσον αφορά το κενό, είτε προσεγγίζεται από τη σχετικότητα είτε από την κβαντική θεωρία πεδίου, το κενό εννοούμενο ως «τίποτα» είναι μια θεώρηση, κατά το μάλλον ή ήττον, παραπλανητική. Ο κενός χώρος είναι ένας χώρος στον οποίο παράγονται δράσεις, είναι με άλλα λόγια ένα πεδίο, με μία συγκεκριμένη γεωμετρία, ικανό να παράξει φαινόμενα. Στο κενό, ακόμα και να αφαιρεθεί όποια μάζα και όποια ενέργεια, τότε θα παραμείνουν κάποιες τυχαίες ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις (Ενέργεια Μηδενικού Σημείου). Στην κβαντική φυσική δεν υπάρχει απόλυτο κενό. Στο τέλος της δεκαετίας του '40, ο Ολλανδός φυσικός Hendrik Casimir ανακάλυψε ότι μεταξύ δύο αφόρτιστων πλακών αναπτύσσονται κάποιου τύπου δυνάμεις, ακόμα και στο κενό. Ο Bohr του επισήμανε ότι αυτό οφείλεται στην κβαντική ενέργεια του κενού. [67] Για την κβαντική φυσική το κενό, δεν είναι απόλυτα κενό. Έχει ενέργεια και μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα παλλόμενο πεδίο (οι λεγόμενες «κβαντικές διακυμάνσεις»). Υπό κάποιες συνθήκες μάλιστα το πεδίο αυτό δημιουργεί σωματίδια, τα οποία όμως, λόγω της απροσδιοριστίας του Heisenberg ($\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$), έχουν πολύ μικρό χρόνο ζωής. Λόγω του μικρού τους χρόνου ζωής δεν μπορούν να παρατηρηθούν, γι' αυτό έχουν ονομαστεί «εικονικά» (virtual).¹⁶ Αφήνουν όμως ένα πραγματικό παρατηρήσιμο ίχνος. Η θεωρία της

¹⁶ Μία κατηγορία αόρατων – εικονικών σωματιδίων, τα οποία ανιχνεύονται εμμέσως, μέσω του τρόπου αλληλεπίδρασής τους, είναι και τα υπερσυμμετρικά σωματίδια τα οποία θεωρείται ότι πρεσβεύουν το 90% των σωματιδίων του σύμπαντος. Ένα από αυτό είναι το σωματίδιο Higgs (το οποίο είναι γνωστό και ως «σωματίδιο του Θεού»), ένα μποζόνιο, τα οποίο δίνει τη δυνατότητα για εξήγηση στον τρόπο που συγκροτείται η ύλη προσδίδοντάς της ιδιότητες όπως για παράδειγμα η μάζα.

κβαντομηχανικής προβλέπει ότι το κενό βρίθεται από τέτοια εικονικά σωματίδια. Μάλιστα, όταν αυτά προσκρούσουν σε έναν θεωρητικό καθρέφτη ο οποίος τρέχει με την ταχύτητα του φωτός, τότε παράγονται πραγματικά σωματίδια, εν προκειμένω φωτόνια. Αυτή η θεώρηση μάλιστα αποδείχθηκε και πειραματικά από Σουηδούς ερευνητές το 2011. [68] Έτσι λοιπόν, από το εικονικό σωματίδιο δημιουργείται ένα πραγματικό, ή αλλιώς, ένα πεδίο με δεδομένη ενεργειακή πυκνότητα μπορεί εν δυνάμει να δημιουργήσει ακόμα και πραγματικά σωματίδια.

Η κοσμολογία, για να απαντήσει ορισμένα ερωτήματα τα οποία προκύπταν από τα εργαλεία τα οποία είχε στη διάθεσή της κατά καιρούς, προσέφυγε σε μία νέα θεώρηση, την ύπαρξη μιας διάφανης, αόρατης ύλης, η οποία δεν αλληλοεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, την – για τους παραπάνω λόγους αποκαλούμενη – «σκοτεινή ύλη».¹⁷ Επειδή δεν εκπέμπει ή απορροφάει φως δεν μπορεί να παρατηρηθεί με τηλεσκόπια. Ανιχνεύεται όμως με βάση τα βαρυτικά φαινόμενα που εμφανίζονται λόγω της ύπαρξής της. [69] Η σκοτεινή ύλη αντιπροσωπεύει το 84,5% της συνολικής ύλης τους σύμπαντος, ενώ είναι το 26,8% της συνολικής ύλης – ενέργειας του σύμπαντος (το υπόλοιπο σύμπαν είναι κατά 4,9% συνηθισμένη ύλη και 68,3% σκοτεινή ενέργεια¹⁸). [70]

Η ύλη λοιπόν προσεγγίστηκε μέσω πολύ διαφορετικών δρόμων σε σχέση με την καθημερινή αντίληψη που έχουμε για αυτήν. Ύλη και αντιύλη, ύλη χωρίς μάζα, σωματίδια τα οποία δίνουν την ιδιότητα της μάζας στην ύλη, σκοτεινά σωματίδια τα οποία δεν αλληλοεπιδρούν παρά μόνο βαρυτικά, εικονικά σωματίδια τα οποία ζουν και ταξιδεύουν ελάχιστα και έπειτα εξαυλώνονται, σωματίδια που απαρτίζουν το «τίποτα», το κενό δηλαδή, ύλη ισοδύναμη με ενέργεια, είναι κάποια μόνο από τα παραδείγματα τα οποία αποδεικνύουν ότι η έννοια της ύλης έχει πλέον απομακρυνθεί από όσα μπορούμε να αντιληφθούμε όταν αγγίζουμε μία πέτρα, όταν κοιτάμε ένα αυτοκίνητο που τρέχει, όταν μυρίζουμε ένα λουλούδι ή όταν γευόμαστε τους κόκκους από το αλάτι.

1.3.2 Τα σωματίδια ή τα πεδία είναι οι θεμελιώδεις λίθοι του σύμπαντος;

Με βάση τη νέα αυτή αντίληψη περί ύλης και τη σχέση της με την ενέργεια προκύπτει ένα από τα πιο φλέγοντα ερωτήματα της σύγχρονης επιστήμης: είναι άραγε τα σωματίδια ή τα πεδία τα βασικά θεμελιακά συστατικά του σύμπαντος; Τόσο για τα σχετικιστικά συστήματα όσο και για τα μη σχετικιστικά, τα σωματίδια θεωρούνται ως επιφανόμενα τα οποία προκύπτουν από τα πεδία. [71] Η ύλη (αν υποθέσουμε ότι είναι το παράγωγο

¹⁷ Η σκοτεινή ύλη αναφέρθηκε πρώτη φορά το 1932 από τον Ολλανδό αστρονόμο, Jan Oort, ο οποίος υποστήριξε ότι ένας άγνωστος τύπος ύλης γεμίζει τον γαλαξία μας. Δύο χρόνια μετά, το 1934, ο Ελβετός αστρονόμος, Fritz Zwicky, για να εξηγήσει την επιπλέον βαρυτική έλξη που απαιτούνταν για να συγκρατούνται ενωμένα τα γαλαξιακά σμήνη, αξιοποίησε την ιδέα της σκοτεινής αυτής ύλης. Αντίστοιχη ήταν και η προσέγγιση της Αμερικανίδας αστρονόμου Vera Rubin, τη δεκαετία του 1960, η οποία ανακάλυψε πως μίας αόρατη μάζα με πολύ ισχυρή βαρύτητα επέτρεπε στους σπειροειδείς γαλαξίες, οι οποίοι περιστρέφονται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, να διατηρούνται συμπαγείς και να μη διαλύονται. [242]

¹⁸ Η σκοτεινή ενέργεια είναι η βασική συνιστώσα του σύμπαντος, στην οποία οφείλεται η διαστολή του. Η ανακάλυψη της επιταχυνόμενης διαστολής του σύμπαντος έδωσε στους επικεφαλής των ομάδων οι οποίες τη μελετούν (Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess) το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για το 2011.

των σωματιδίων) είναι με άλλα λόγια το πρόσθετο επακόλουθο, ή το συν-εκδηλωμένο φαινόμενο της ύπαρξης των πεδίων.

Η έννοια του «πεδίου» όπως την προσεγγίζουμε στην μοντέρνα επιστήμη ξεκίνησε από τον Faraday πριν περίπου από 150 χρόνια, ο οποίος θεωρούσε τα πεδία σαν ιδιότητες του χώρου οι οποίες προκαλούν φυσικές επιδράσεις. [72] Υποστήριξε την ιδέα ότι οι μαγνητικές δυναμικές γραμμές είναι απλώς φυσικές συνθήκες του χώρου, ο οποίος δεν περιέχει κάποια υλική υπόσταση. Στις μέρες μας η γενικευμένη θεώρηση των πεδίων σαν «καταστάσεις του ίδιου του χώρου, διαχωρισμένες από την ύλη η οποία ενδέχεται να βρίσκεται μέσα σε αυτόν» [73] είναι κοινώς αποδεκτή. Σε αντίθεση με την προσέγγιση του Faraday για την έννοια του πεδίου, ο Maxwell πίστευε ότι στον χώρο μεταξύ δύο αλληλοεπιδρώντων σωμάτων υπάρχει ένας «μηχανικός αιθέρας» ο οποίος υπακούει στους νόμους της νευτώνειας μηχανικής. Έτσι, οι δυναμικές γραμμές του Faraday έγιναν καταστάσεις ενός υλικού μέσου, του αιθέρα. Τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα ήταν για τον Maxwell το αποτέλεσμα των νευτώνειων μηχανικών δυνάμεων οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στον αιθέρα, μία άποψη αρκετά διαφορετική από αυτή του Faraday ο οποίος προσέγγιζε τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα μέσω ενός πεδίου το οποίο είναι καταστάσεις απλώς του χώρου (state of “mere space”) ¹⁹. [71] Σε κάθε περίπτωση, μία από τις σημαντικότερες αλλαγές στην οπτική του φυσικού κόσμου είχε ξεκινήσει: η μετατόπιση από τα σωματίδια στα πεδία.²⁰

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1920, παρά το γεγονός ότι η κβαντική φυσική είχε κάνει ήδη τα πρώτα της βήματα, οι επιστήμονες ήταν εγκλωβισμένοι στη νευτώνεια λογική η οποία πρέσβευε ότι ο κόσμος αποτελείται από αδιάσπαστα σωματίδια τα οποία υπάρχουν στον κενό χώρο. Με την εξίσωση του Schrodinger $\Psi(x,t)$ όμως προσδιορίζεται ένα πεδίο, αφού πρόκειται για εντοπισμό ενός κύματος (εξού και κυματοσυνάρτηση). Η ερμηνεία του Max Born παρέμενε στη σωματιδιακή λογική (η εξίσωση δίνει την πιθανότητα το σωματίδιο να βρεθεί στη θέση x την χρονική στιγμή t), ενώ η σχολή της Κοπεγχάγης επέτρεπε παράλληλα και μία ερμηνεία «πεδίου» (η εξίσωση δίνει την πιθανότητα να συμβεί μία αλληλεπίδραση στη θέση x τη χρονική στιγμή t). Από τα τέλη τις δεκαετίας του 1920 έγινε αντιληπτό ότι έπρεπε η μη σχετικιστική εξίσωση του Schrodinger να γενικευτεί για να μπορέσει να συμπεριλάβει την υπακοή των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων στη γενική θεωρία της σχετικότητας. Άλλωστε, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, άρα κάθε κβαντική θεωρία πρέπει να είναι σχετικιστική. Επίσης, η μη σχετικιστική κβαντική φυσική ανέφερε ότι η ενέργεια ταλαντώνεται αυθόρμητα, ενώ η γενική σχετικότητα ότι η ύλη μπορεί να παραχθεί από «μη υλικές» μορφές ενέργειας ($E = mc^2$). Οι παραπάνω διαπιστώσεις οδήγησαν στην κβαντική θεωρία πεδίου. [71]

¹⁹ Την αντίληψη του Faraday, ότι τα πεδία είναι καταστάσεις του χώρου ασπάζονταν και ο Einstein. Θεωρούσε ότι δεν υπάρχει κάποιος υλικός «αιθέρας» πάνω στον οποίο βασίζονταν η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, αλλά ότι ο ίδιος χώρος ήταν το «μέσο» για τη διάδοση του φωτός. Αυτός ο ισχυρισμός επιβεβαιώνεται από την ειδική θεωρία της σχετικότητας κατά την οποία, αφού τα πεδία έχουν ενέργεια, τότε έχουν και αδράνεια. Επομένως, πρέπει να θεωρηθεί ότι έχουν από μόνα τους μία φυσική υπόσταση και δεν είναι αποκτούν υπόσταση από κάτι άλλο, όπως π.χ. από τον αιθέρα. [71]

²⁰ «Πριν τον Maxwell, η φυσική πραγματικότητα θεωρούνταν ότι αποτελείται από υλικά σωματίδια. Από τον καιρό του Maxwell και έπειτα, η φυσική πραγματικότητα θεωρείται ότι αντιπροσωπεύεται από συνεχή πεδία. Αυτή η μεταστροφή στην αντίληψη περί «πραγματικότητας» είναι η πιο προφανής και η πιο καρποφόρα που έχει βιώσει η φυσική από την εποχή του Νεύτωνα». [243]

Στη φυσική των υψηλών ενεργειών η έννοια του πεδίου και της ύλης ταυτίζονται. Η σχετικιστική κβαντική φυσική αφορά τα πεδία, ενώ τα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια και πάει λέγοντας είναι απλώς οι διεγέρσεις των θεμελιωδών πεδίων. Άλλωστε, τόσο η κβαντική θεωρία πεδίων όσο και η σωματιδιακή φυσική είναι ισοδύναμα πεδία.²¹ Τι μας λέει με άλλα λόγια λοιπόν η κβαντική θεωρία πεδίου; Ότι στο σύμπαν υπάρχουν μόνο πεδία τα οποία επεκτείνονται σε όλη του την έκταση. Τα σωματίδια δεν είναι παρά οι τοπικές δονήσεις των πεδίων αυτών. Όταν για παράδειγμα ένα ηλεκτρόνιο μεταβαίνει σε μία άλλη ενεργειακή στιβάδα εκπέμποντας ένα φωτόνιο, το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται από την κβαντική θεωρία πεδίου ως εξής: οι δονήσεις του πεδίου του ηλεκτρονίου προκαλούν δονήσεις στο πεδίο του φωτονίου δίνοντας έτσι την εντύπωση της εμφάνισης του σωματιδίου του φωτονίου. Για κάθε στοιχειώδες σωματίδιο υπάρχει το αντίστοιχό του πεδίο το οποίο υπάρχει «παντού» στο σύμπαν. Αν σε κάποιο σημείο του πεδίου αυτού δοθεί αρκετή ενέργεια τότε η μορφή η οποία παίρνει η τοπική αυτή δόνηση μας γίνεται αντιληπτή σα να εμφανίζεται ένα σωματίδιο.²²

Η κβαντική θεωρία πεδίου λοιπόν, η οποία αναγνωρίζεται ως η επικρατέστερη και καλύτερη θεωρία ερμηνείας του σύμπαντος, μέχρι στιγμής τουλάχιστον, δε στηρίζεται καθόλου στην ύπαρξη σωματιδίων, αλλά θεωρεί ότι οι θεμέλιοι λίθοι της φύσης είναι τα πεδία. Τα πεδία αυτά είναι διαμορφώσεις του χώρου, ενώ μπορούν να περιγραφτούν σα

²¹ Η σχέση των σωματιδίων ως το επιφανόμενο των πεδίων αναφέρεται σε μία σειρά αποσπασμάτων όπως τα παρακάτω: «Επίσης, όλα αυτά τα σωματίδια είναι δέσμες ενέργειας, ή κβάντα, από διάφορα είδη πεδίων. Ένα πεδίο, όπως το ηλεκτρικό ή το μαγνητικό, είναι ενός τύπου τάση (stress) του χώρου. Οι εξισώσεις της θεωρίας πεδίου, όπως αυτές του καθιερωμένου προτύπου (Standard Model), δεν περιγράφουν σωματίδια αλλά πεδία: τα σωματίδια εμφανίζονται ως εκφάνσεις των πεδίων αυτών». [244]

«Έτσι όπως υπάρχει ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του οποίου η ενέργεια και η ορμή έρχεται σε μικρές δέσμες οι οποίες ονομάζονται φωτόνια, έτσι υπάρχει το πεδίο του ηλεκτρονίου, του οποίου η ενέργεια, η ορμή και το ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζονται σε δέσμες τις οποίες τις λέμε ηλεκτρόνια, όπως αντίστοιχα συμβαίνει για κάθε τύπο στοιχειώδους σωματιδίου. Το βασικό συστατικό της φύσης είναι τα πεδία, τα σωματίδια είναι παραγόμενα φαινόμενα». [73]

«Ο μόνος τρόπος για να αποκτήσουμε μία συνεκτική σχετικιστική θεωρία είναι να αντιμετωπίσουμε όλα τα σωματίδια στη φύση σαν κβάντα πεδίων, όπως τα φωτόνια. Τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν τα κβάντα του ηλεκτρονικού – ποζιτρονικού πεδίου, του οποίου οι κλασικιστικές εξισώσεις πεδίου, οι ανάλογες δηλαδή αυτών του Maxwell για το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, προκύπτει ότι είναι η εξίσωση του Dirac, η οποία ξεκίνησε σαν η σχετικιστική εκδοχή της εξίσωσης του Schrodinger για ένα μόνο σωματίδιο. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει μία ενοποιημένη εικόνα όλης της φύσης, η οποία είναι γνωστή σαν η κβαντική θεωρία πεδίου». [245]

«Στην κβαντική θεωρία πεδίου, τα πρωταρχικά συστατικά της πραγματικότητας δεν είναι τα μεμονωμένα σωματίδια, αλλά τα υποκείμενα πεδία. Έτσι, παραδείγματος χάρη, όλα τα ηλεκτρόνια δεν είναι παρά τα εξαγόμενα ενός υποκείμενου πεδίου... το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο καλύπτει ολόκληρο τον χώρο και τον χρόνο». [246]

«Οι καταστάσεις των σωματιδίων δεν είναι ποτέ παρατηρήσιμες, αλλά αποτελούν μία εξιδανίκευση η οποία οδηγεί σε πληθώρα παρεξηγήσεων σχετικά με το τι συμβαίνει στην κβαντική θεωρία πεδίου. Η θεωρία αφορά τα πεδία και τις τοπικές τους διεγέρσεις.» [247]

«Έτσι λοιπόν, ερμηνεύουμε τη φυσική η οποία περιέχεται στη θεωρία πεδίου με βάση τα ακόλουθα: στην περιοχή 1 του χωροχρόνου υπάρχει μία πηγή η οποία στέλνει «μία διαταραχή του πεδίου», η οποία αργότερα απορροφάται από έναν «βόθρο» (sink) στην περιοχή 2. Οι πειραματιστές επιλέγουν να ονομάζουν τη διαταραχή αυτή του πεδίου σαν σωματίδιο μάζας m». [248]

Οι παραπάνω παραπομπές έχουν συγκεντρωθεί από τον Hobson. [71]

²² Τα βασικά πεδία είναι σύμφωνα με το καθιερωμένο πρότυπο είναι δώδεκα, έξι λεπτόνια (ηλεκτρόνιο, ηλεκτρονικό νεutrino, μιονίο, μιονικό νεutrino, ταυ και νεutrino του ταυ) και έξι κουάρκ (πάνω, κάτω, γιογευτικό, παράξενο, κορυφαίο, πυθμενικό).

να ήταν «ρευστά» τα οποία επεκτείνονται σε όλο τον χώρο και εμφανίζουν περιέργες και ιδιόμορφες κυματώσεις. Επομένως, ως πεδίο μπορεί να θεωρηθεί κάτι το οποίο επεκτείνεται στον χώρο, παίρνει συγκεκριμένες τιμές σε κάθε περιοχή του και οι τιμές αυτές μεταβάλλονται στον χρόνο. Η ιδέα του πεδίου λοιπόν, ως ο χώρος στον οποίο εμφανίζονται εν δυνάμει γεγονότα, δεν είναι προνόμιο της κβαντικής θεωρίας πεδίου. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μαγνητικό πεδίο για να έλξουμε ή να απωθήσουμε αντικείμενα (χωρίς να τα αγγίζουμε), ή να δημιουργήσουμε ηλεκτρικό ρεύμα (επαγωγή). Έχουμε λοιπόν τέτοια «γεγονότα». Στη θεωρία κβαντικού πεδίου ένα από αυτά τα «γεγονότα» είναι η εμφάνιση της ύλης μέσω των διακυμάνσεων των πεδίων. Τα πεδία μάλιστα αυτά συνεχίζουν να υπάρχουν ανεξάρτητα από το κατά πόσον εμφανίζεται η ύλη. Έτσι εξηγούνται και οι κβαντικές διακυμάνσεις του κενού οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι ταλαντώσεις των κβαντικών πεδίων είναι συνεχείς, ακόμα και στο κενό. Απλώς δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να εμφανιστούν υλικά συνεπαγόμενα.

1.3.3 Αεί ο Θεός γεωμετρεί (Πλάτωνας) – Η φυσική είναι γεωμετρία (Wheeler)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η έννοια του πεδίου έχει αναβαθμισμένο ρόλο για τη σύγχρονη επιστήμη. Πρόκειται για μία δεδομένη οργάνωση του χώρου στον οποίο μπορούν να συμβούν, εν δυνάμει, γεγονότα. Ένα από αυτά είναι και η γέννηση της ύλης. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η χωρική οργάνωση, η γεωμετρική συγκρότηση του πεδίου είναι απαρχή των κάθε λογής φυσικών φαινομένων. Οι καμπυλώσεις και οι στρεβλώσεις του χωροχρόνου, όπως τις προσέγγισε ο Einstein αξιοποιώντας τη γεωμετρία του Riemann, παράγουν τα βαρυτικά φαινόμενα. Ο τρόπος κίνησης ενός ηλεκτρικά αγωγίμου υλικού σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο θα δημιουργήσει ρεύμα εξ επαγωγής σε αυτό. Οι τοπικές ταλαντώσεις ενός ηλεκτρονιακού πεδίου θα οδηγήσουν στην εμφάνιση του σωματιδίου του ηλεκτρονίου. Το ακουστικό πεδίο μιας εκκλησίας, ενός χωραφιού, του βυθού της θάλασσας ή του κενού το οποίο θα παραχθεί από ένα βιολί θα το κάνει να ηχήσει πολύ διαφορετικά ή και καθόλου (στο κενό). Οτιδήποτε αναπτύσσεται, εκδηλώνεται, γεννιέται, δρα κ.λπ. γίνεται στα πλαίσια ενός «πεδίου». Και το πεδίο δεν είναι τίποτα άλλο παρά ο τρόπος οργάνωσης ενός χώρου, κάθε σημείο του οποίου παίρνει κάποια τιμή η οποία μεταβάλλεται στον χρόνο. Προφητική ήταν λοιπόν η ρήση του Πλάτωνα «Αεί ο Θεός γεωμετρεί» ή όπως ειπώθηκε αργότερα: «Physics is Geometry». [74] Στην εργασία τους αυτή αποπειράονται να δώσουν μία αναλυτική γεωμετρική περιγραφή του ηλεκτρομαγνητισμού χρησιμοποιώντας τα ανώτερα μαθηματικά της τοπολογίας και των διανυσματικών πεδίων. Ο ηλεκτρομαγνητισμός, με τον τρόπο αυτό, αποκτά μία πλήρως γεωμετρική περιγραφή, αποκτώντας αποτύπωμα στο χώρο. Τα αποτυπώματα αυτά μάλιστα είναι τόσο συγκεκριμένα, ώστε αν κανείς ακολουθήσει τα ίχνη τους μπορεί να εξάγει τις πληροφορίες που περιγράφουν πλήρως και εξαρχής το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Η γεωμετρία λοιπόν, εννοούμενη σαν οι καταστάσεις του χώρου μέσα στο οποίο επεκτείνεται ένα πεδίο, είναι η βάση πάνω στην οποία αναπτύσσονται οι φυσικοί νόμοι. Η ιδέα αυτή δεν είναι νέα. Ο Murray Gell-Mann, τοποθέτησε τα σωματίδια σε μία γεωμετρική δομή, γνωστή ως $SU(3)$, και παρατήρησε ότι μεταβάλλοντάς τη με συγκεκριμένο τρόπο μπορεί να προβλέψει τις αλληλεπιδράσεις τους. Προέβλεψε μάλιστα την ύπαρξη σωματιδίων τα οποία τα τοποθέτησε στα κενά σημεία της δομής αυτής. Η

πειραματική ανακάλυψη των σωματιδίων αυτών του έδωσε και το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1969. [75]

Ο Garrett Lisi χρησιμοποίησε τη δομή E8 για να περιγράψει τους νόμους του σύμπαντος. Η δομή αυτή έγινε γνωστή από έναν νορβηγό μαθηματικό, τον Sophus Lie, το 1887. Περιλαμβάνει 248 διαστάσεις και μόλις τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκε από τους μαθηματικούς ο χάρτης περιγραφής της. Όπως και ο Gell-Mann, έτσι και ο Lisi, τοποθέτησε στα 248 αυτά σημεία σωματίδια (είτε ύλης είτε δύναμης) και προβαίνοντας σε πολύπλοκους υπολογισμούς μέσω υπολογιστή μπόρεσε με μαθηματικό τρόπο να αναπαράγει τις αλληλεπιδράσεις όπως συναντιούνται στη φύση. Έτσι λοιπόν, μέσω μίας γεωμετρικής διάταξης αξιώνεται η περιγραφή μίας ενοποιητικής θεωρίας, η οποία προσβλέπει στη σύνδεση της βαρυτικής με τις υπόλοιπες τρεις δυνάμεις (ηλεκτρομαγνητισμός, ασθενής πυρηνική, ισχυρή πυρηνική). [76] Αν και η προσέγγιση αυτή δεν χαιρεί ακόμα της αναγνώρισης ολόκληρης της επιστημονικής κοινότητας, παρουσιάζει κάποια κενά και δεν έχει επιβεβαιωθεί εξολοκλήρου πειραματικά αποκαλύπτει ότι πολλές απαντήσεις για την προέλευση των νόμων της φύσης μπορούν να προκύψουν από τη μελέτη γεωμετρικών δομών.

Η γεωμετρία λοιπόν αποκαλύπτει, αν όχι και ορίζει, τη φυσική πραγματικότητα.

1.3.4 Η πληροφορία είναι το software ή το hardware των οντοτήτων; Η περίπτωση των κυψελωτών αυτομάτων

Η εξέταση κάθε οντότητας έχει ως αποτέλεσμα την ερμηνεία των ιδιοτήτων της οντότητας αναφορικά με την οργάνωση της δομής της, σε υλικό ή/και ενεργειακό επίπεδο. Χρειάζεται να μελετήσεις κανείς τον κρύσταλλο για να αποφανθεί για τη μοριακή του δομή, ένα μουσικό έργο για την οργάνωση των ήχων ή έναν ζωντανό οργανισμό για τη σχέση φαινοτύπου και γονότυπου. Είναι αυταπόδεικτο ότι η πληροφορία εγγράφεται και κωδικοποιείται στη δομή της οντότητας. Δεν πρόκειται απλώς για μία παθητική καταγραφή της στο φυσικό υπόστρωμα (hardware), αλλά στην πραγματικότητα αποτελεί το σύνολο των οδηγιών (software) βάση των οποίων η οντότητα αποκτά τα ταυτολογικά της χαρακτηριστικά (έγινε αυτό που είναι).

Η ανεξαρτητοποίηση της πληροφορίας από το φυσικό υπόστρωμα στο οποίο εγγράφεται / εκδηλώνεται αναδεικνύεται στον οικουμενικό κατασκευαστή (universal constructor, UC) του von Neumann. [77] Ο UC είναι μία (θεωρητική) μηχανή η οποία δύναται να κατασκευάσει ό,τι είναι δυνατό να κατασκευαστεί, μέσω της κατάλληλης συναρμολόγησης των αναγκαίων υλικών. Διαφοροποιείται από τις συνήθεις ρομποτικές μηχανές της σύγχρονης βιομηχανίας. Για παράδειγμα, σε ένα εργοστάσιο αυτοκινήτων, οι μηχανές μπορούν να κατασκευάσουν αυτοκίνητα. Χρειάζονται ειδικό επαναπρογραμματισμό και μηχανική ρύθμιση για να μπορούν να κατασκευάσουν συσκευές κινητών τηλεφώνων. Ο UC θα μπορούσε να κατασκευάσει και τα δύο με ένα διαφορετικό σετ οδηγιών. Για να είναι πραγματικά οικουμενικός όμως και να μπορεί να κατασκευάζει το καθετί δυνατό, όντας μηχανή και ο ίδιος, πρέπει να μπορεί να κατασκευάσει και τον ίδιο του τον εαυτό. Ακόμα και με αυτή την προϋπόθεση δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως οικουμενικός κατασκευαστής. Πρέπει να αναπαράξει ένα αντίγραφο του εαυτού του το οποίο θα μπορεί να αναπαράξει με τη σειρά του ένα αντίγραφο του δικού του εαυτού και πάει λέγοντας. Ο UC αντιγράφει λοιπόν πέρα από

τον εαυτό του και το σετ των οδηγιών στο οποίο περιγράφεται η διαδικασία της κατασκευής. Στο παράδειγμα αυτό αναδεικνύεται ο διττός χαρακτήρας της πληροφορίας. Το σετ οδηγιών, όταν λειτουργεί ως είσοδος στη μηχανή, έχει χαρακτήρα software. Το ίδιο σετ, όταν αντιμετωπίζεται από τη μηχανή σαν υλικό αντικείμενο προς αντιγραφή, έχει χαρακτήρα hardware. [2] Ο UC του Neumann ερμηνεύει τη διαδικασία της αυτοαναπαραγωγής των κυττάρων. Το DNA αποτελεί παράλληλα το σετ οδηγιών για την αντιγραφή του κυττάρου (software), αλλά, ως φυσικό/υλικό τμήμα του κυττάρου, πρέπει να αντιγραφεί και το ίδιο (hardware). Η αυτο-αναπαραγωγή (ως αντιγραφή) δεν είναι αρκετή για την υιοθέτηση του UC ως το ερμηνευτικό εργαλείο της βιολογίας, αν δεν συνυπολογισθεί η εξελισσιμότητα. Η απλή αντιγραφή μπορεί να είναι η περίπτωση των κρυστάλλων. Στη βιολογία, κατά τη διαδικασία της αντιγραφής, συμβαίνει λάθη (ηθελήμενα ή μη). Τα αντίγραφα, επομένως, δεν είναι απόλυτα όμοια, αφού είναι παράγωγα μια (μερικώς) λανθασμένης αντιγραφής.

Ο von Neumann ανέπτυξε ως εργαλείο πειραματισμού και ανάλυσης του UC τα κυψελωτά αυτόματα (cellular automata, CA). Είναι ένα μαθηματικό κατασκευάσμα για τη μοντελοποίηση της αρχιτεκτονικής μιας δομής και της εξέλιξής της στο χρόνο. Πρόκειται για διάτμηση του χώρου σε κελιά / κυψέλες, το καθένα από τα οποία βρίσκεται σε μία διακριτή κατάσταση. Η κατάσταση αυτή προκύπτει από τις προγενέστερες καταστάσεις του συστήματος. Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα CA είναι το παιχνίδι της ζωής (the Game of Life). [78] Κάθε κυψέλη μπορεί να είναι σε κατάσταση είτε νεκρή είτε ζωντανή. Η κάθε επόμενη κατάσταση (γενιά) είναι αποτέλεσμα τεσσάρων κανόνων και έχει να κάνει με την τωρινή κατάσταση της ίδιας της κυψέλης και των οκτώ γειτονικών της (τρεις από πάνω, τρεις από κάτω και από μία εκατέρωθεν):

1. Κάθε κελί με λιγότερους από δύο γείτονες πεθαίνει (προσομοίωση του υποπληθυσμού)
2. Κάθε κελί με δύο ή τρεις γείτονες παραμένει ζωντανό.
3. Κάθε κελί με περισσότερους από τρεις γείτονες πεθαίνει (προσομοίωση του υπερπληθυσμού)
4. Κάθε νεκρό κελί με ακριβώς τρεις γείτονες ζωντανεύει (προσομοίωση της αναπαραγωγής).

Οι κανόνες αυτοί εφαρμόζονται ταυτόχρονα σε όλες τις κυψέλες και η δομή ανανεώνει την αρχιτεκτονική της σε κάθε βήμα / γενιά. Παρατηρούμε ότι από πολύ απλούς κανόνες μπορούν να προκύψουν δομές μεγάλης πολυπλοκότητας. Το πιο ενδιαφέρον αποκύημα της μοντελοποίησης της εξέλιξης της αρχιτεκτονικής δομής ενός φαινομένου είναι ότι τα patterns σχημάτων που αναπτύσσονται είναι ανεξάρτητα από τη φυσική τους κωδικοποίηση. Η κίνηση η οποία οπτικοποιείται στο πλέγμα των κυψελωτών αυτομάτων μέσω μιας οθόνης αποκτά ανεξάρτητη υπόσταση από το φαινόμενο το οποίο μοντελοποιεί. Στο «παιχνίδι της ζωής» δε βλέπουμε τη ζωή να κινείται, αλλά την πληροφοριακή κωδικοποίησή της σε σχήματα.

Τα πληροφοριακά αυτά μοτίβα μπορούν να ιδωθούν σαν μονάδες που δύνανται να διαμορφώσουν το αίτιο μιας δράσης. Αυτές οι πληροφοριακές μονάδες, συνδεδεμένες και αλληλοεπιδρούσες μεταξύ τους διαμορφώνουν μια δικιά τους, αυτόνομη σχέση, με τις δικές της δυναμικές σχέσεις αιτίου – αιτιατού. Η πληροφοριακή ροή ως πεδίο στο οποίο συσχετίζονται φαινόμενα αποτυπώνεται στην εργασία των Lizier και Prokopenko, οι

οποίοι χρησιμοποιήσαν τα CA για να κάνουν ευκρινή των διαχωρισμό της αιτιώδους επίδρασης (causal effect) και της μεταφοράς πληροφορίας πρόβλεψης (predictive information transfer). [79] Το πρώτο (causal effect) απαντά στο ερώτημα του κατά πόσον η αλλαγή της κατάστασης στο σύστημα A μπορεί να επηρεάσει την αλλαγή της κατάστασης στο σύστημα B. Αυτή η αιτιακή σχέση αφορά το κλαδί που πέφτει στο ποτάμι. Οι ροή του ποταμού (A) αυτή καθαυτή θα επηρεάσει με έναν αιτιακό τρόπο την κίνηση του κλαδιού (B). Το δεύτερο (predictive transfer) απαντά στην ερώτηση του κατά πόσον η γνώση της κατάστασης στο σύστημα A επηρεάζει τη γνώση της κατάστασης στο σύστημα B. Στη δεύτερη περίπτωση η φυσική σύνδεση των A και B δεν είναι προϋπόθεση. Οι συμπεριφορές τους είναι συσχετιζόμενες (correlation σε αντιδιαστολή με το causation) μέσω ενός πληροφοριακού μοτίβου το οποίο έχει τη δική του δυναμική.

1.4 «Οντοφορία» και Πληροφορία: μία αναγκαία διάκριση

Στην υποενότητα αυτή διατυπώνεται η πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία. Η οντολογία αυτή στηρίζεται στο ότι οι οντότητες προκύπτουν ως παράγωγα της πληροφορίας. Για το λόγο αυτό, εισάγεται ο όρος «οντοφορία» (itformation) σε αντιδιαστολή με την πληροφορία (information), η οποία συνδέεται με το αποτέλεσμα της παρατήρησης των οντοτήτων. Θα εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο ενυπάρχει η πληροφορία - οντοφορία σε μία οντότητα και αλληλοεπίδρασή της τόσο με το ενεργειακό όσο και με το υλικό της περιεχόμενο.

1.4.1 Η έννοια της «Οντοφορίας» («ITformation»)

Μέχρι τώρα λοιπόν έχουμε περιγράψει το πώς συνδέεται η φυσική έννοια της πληροφορίας με την άγνοια για τον τρόπο που οργανώνονται τα διάφορα συστήματα (τόσο στην κλασική φυσική, όσο στη θερμοδυναμική και την κβαντική μηχανική), συνδέοντάς την με την συγγενή έννοια της εντροπίας (τόσο της θερμοδυναμικής όσο και του Shannon). Είδαμε επίσης την προσέγγιση της έννοιας αυτής στην κοσμολογία και ειδικά στις μαύρες τρύπες αλλά και τον τρόπο με τον οποίον μαθηματικοποιήθηκε και ποσοτικοποιήθηκε σαν έννοια στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα από τον Claude Shannon. Παράλληλα όμως, προχωρήσαμε και στην σύγχρονη προσέγγιση περί ύλης, η οποία στη σύγχρονη φυσική όχι μόνο αντιστοιχίζεται με την ενέργεια, αλλά μπορεί να θεωρηθεί και ως παράγωγό της. Περιγράψαμε αδρομερώς το γιατί στην κβαντική θεωρία πεδίου οι πρωταρχικές οντότητες δεν είναι τα σωματίδια, αλλά τα πεδία, ως «αφηρημένες» οντότητες οι οποίες κατακλύζουν ολόκληρο το χωροχρόνο. Η ύπαρξη των σωματιδίων είναι το επιφανόμενο των πεδίων αυτών. Αναφερθήκαμε στα πεδία ως οργανώσεις του χώρου και παρουσιάσαμε κάποια γεωμετρικά μοντέλα, μέσω των οποίων οργανώνεται ο χώρος και επομένως λειτουργούν σαν «γεννήτορες» των πεδίων, της ενέργειας, της ύλης και όλων των φυσικών φαινομένων εν γένει.

Ο τρόπος με τον οποίον οργανώνονται τα προαναφερθέντα πεδία και οι μορφές οι οποίες προσδίδουν στον χώρο γεωμετρικά στοιχεία αποτελούν επί της ουσίας το πληροφοριακό τους περιεχόμενο. Είναι πλέον καταφανές ότι η ύλη και η ενέργεια από μόνες τους δεν αρκούν για να περιγράψουν με πληρότητα τις οντότητες και τα φαινόμενα

(φυσικά και μη). Η πληροφορία αναβαθμίζεται πλέον σε φυσικό μέγεθος²³ και λειτουργεί ως θεμέλιος λίθος των οντοτήτων. Οι τροχιές των πλανητών ενός συστήματος, ο τρόπος διαδοχής των νουκλεοτιδίων σε μία αλυσίδα DNA, η οργάνωση των μορίων μιας κρυσταλλικής δομής, η θέση των μορίων του αέρα σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι μόνο κάποια παραδείγματα της πληροφορίας η οποία ενυπάρχει στα συστήματα / οντότητες αυτά.

Η πληροφορία αυτή, ενώ πηγάζει από την ίδια εννοιολογική μήτρα με τις υπόλοιπες πληροφορίες (π.χ. της πληροφορίας ενός ταξιδιωτικού οδηγού, ενός μηνύματος σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, ή αυτής η οποία αποθηκεύεται στον ορίζοντα της μαύρης τρύπας), διαφοροποιείται σε κάποια σημεία. Πριν εξετάσουμε τον τρόπο διαφοροποίησής της, για λόγους συνεννόησης, η πληροφορία αυτή μπορεί να βαφτιστεί ως «οντοφορία», ένα λογοπαίγνιο το οποίο έχει εισαχθεί από τον καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και επιβλέποντα της παρούσης διδακτορικής διατριβής, κ. Γεώργιο Καμπουράκη. Το λογοπαίγνιο αυτό σμίγει τις έννοιες οντότητα και πληροφορία και αποδίδει παράλληλα τον τρόπο οργάνωσης των επιμέρους (υλικών και άυλων) «συστατικών» των οντοτήτων αλλά και τους μηχανισμούς αυτής της οργάνωσης. Ο όρος αυτός έχει και το αγγλικό ανάλογό του, το «ITformation», το οποίο συμπεριλαμβάνει τη λέξη «it» (αυτό), η οποία προσδιορίζει την οντότητα, στο information (ο λατινογενής όρος της έννοιας της πληροφορίας)²⁴. [80]

²³ Η θεώρηση της πληροφορίας ως φυσικό μέγεθος οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στις εργασίες του Landauer (ενδεικτικά: [249], [250], [7], [251]). Πίστευε ότι η πληροφορία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις φυσικές αναπαραστάσεις και ως εκ τούτου υπόκειται και αυτή στους νόμους της φύσης. «Η πληροφορία δεν είναι μία αφηρημένη έννοια, αλλά πάντα είναι συνδεδεμένη με μία φυσική αναπαράσταση. Έχει αναπαρασταθεί χαραγμένη σε έναν πέτρινο δίσκο, σε ένα σπιν, ένα φορτίο, σε μία τρύπα μίας διάτρητης κάρτας, στο σημάδι ενός χαρτιού, ή κάπου ανάλογα. Αυτό το γεγονός δεσμεύει τη διαχείριση της πληροφορίας με όλες τις δυνατότητες και απαγορεύσεις του πραγματικού φυσικού κόσμου, του νόμου της φυσικής και του τρόπου αποθήκευσης των διαθέσιμων τμημάτων του.» [251] «Η διαχείριση της πληροφορίας περιορίζεται από τους νόμους της φυσικής, καθώς και τον αριθμό των διαθέσιμων τμημάτων του σύμπαντος. Από την άλλη, οι νόμοι της φυσικής περιορίζονται από το εύρος της διαθέσιμης ικανότητας επεξεργασίας της πληροφορίας». [7] Στην εργασία του αυτή μάλιστα παραλλήλισε τις απόψεις του περί πληροφορίας με αυτές του Wheeler, του οποίου η πρόταση ότι «οι νόμοι της φυσικής είναι συνδεδεμένοι με την εξέλιξη του σύμπαντος και της παρατήρησής μας σε αυτό, το οποίο δεν είναι αντίστοιχο με την πρότασή μου (σημ. του Landauer δηλαδή), αλλά οι προτάσεις και των δυο μας εκκινούν από την επικρατούσα αντίληψη ότι οι νόμοι της φυσικής είναι ανεξάρτητοι από το περιεχόμενο και την ιστορία του σύμπαντος». Έμεινε γνωστός κυρίως για τη λεγόμενη «αρχή του Landauer» η οποία «συνχνά θεωρείται ως η βασική αρχή της επεξεργασίας της πληροφορίας στη θερμοδυναμική, η οποία πρεσβεύει ότι κάθε λογική αντιστρέψιμη διαχείριση της πληροφορίας, όπως η διαγραφή ενός bit ή η συνένωση δύο υπολογιστικών μονοπατιών, πρέπει να συνοδεύεται από μία αντίστοιχη αύξηση της εντροπίας των – μη φερουσών πληροφορία – βαθμών ελευθερίας (non-information-bearing degrees of freedom) της συσκευής η οποία επεξεργάζεται πληροφορία ή του περιβάλλοντος» [252] Με πιο απλά λόγια, αν κάποιος παρατηρητής χάσει πληροφορία για την κατάσταση ενός θερμοδυναμικού συστήματος, χάνει και δυνατότητα παραγωγής έργου από αυτό.

²⁴ Στα ελληνικά, ο όρος «πληροφορία» προέρχεται ετυμολογικά από τις λέξεις «φέρω» και «πλήρης». Στο www.babiniotis.gr διαβάζουμε: «Το «να φέρεις πληρότητα» σε κάτι δηλώθηκε στους ελληνιστικούς χρόνους με το ρήμα πληροφορώ που είχε αρχικά τη σημασία «εξασφαλίζω πληρότητα σε κάτι, επιτελώ πλήρως, εκπληρώνω, φέρω εις πέρας». Αργότερα πέρασε στη σημασία «εκπληρώνω με λόγια κάτι που έχω αναλάβει, επιβεβαιώνω πλήρως», για να καταλήξει στη σημασία «φέρω μήνυμα, ενημερώνω» με απόχρωση «την πληρότητα» και «τη δέσμευση» για την αλήθεια τού μηνύματος που μεταφέρω.» Στις

Έχουμε επανειλημμένως συσχετίσει την πληροφορία με την διαδικασία ακύρωσης της άγνοιας. Η προϋπάρχουσα γνώση δε συνιστά πληροφορία. Όταν ένας δράστης μίας δολοφονίας διαβάσει το όνομά του σε μία εφημερίδα δε θα λάβει πληροφορίες για το περιστατικό (αφού το γνωρίζει ήδη καλά «από πρώτο χέρι»), σε αντίθεση με έναν απλό αναγνώστη. Η πληροφορία η οποία θα λάβει ο δράστης είναι ότι το όνομά του διέρρευσε και κοινοποιήθηκε στον τύπο. Αντίστοιχα, ας εξετάσουμε την περίπτωση των πρακτικών της συνέλευσης των καθηγητών της σχολής ΗΜΜΥ, ΕΜΠ και το ενδεχόμενο να τα διαβάσει: α) ο πρόεδρος του τμήματος, β) ένας απλός φοιτητής της σχολής, γ) η γιαγιά του φοιτητή. Για τον πρόεδρο του τμήματος, ο οποίος ήταν παρών σε όλη τη διάρκεια της συνέλευσης και βοήθησε στη σύνταξή τους, η ανάγνωση των πρακτικών περιλαμβάνει πολύ μικρή πληροφορία, αφού ήδη γνωρίζει το τι συζητήθηκε. Ενδεχομένως παρατήρησε κάτι που δεν πρόσεξε ή δεν άκουσε καλά. Για έναν φοιτητή της σχολής, ο οποίος ξέρει τα ονόματα των συμμετεχόντων, τον τομέα στον οποίο ανήκουν, τα μαθήματα τα οποία διδάσκουν και γνωρίζει το πώς τα θέματα της ημερήσιας διάταξης επηρεάζουν τη λειτουργία της σχολής του, η ανάγνωση των πρακτικών περιλαμβάνει μεγάλη ποσότητα πληροφορίας. Από την άλλη, για την γιαγιά του, η οποία δεν γνωρίζει καθόλου τη λειτουργία και καμία διαδικασία μιας πανεπιστημιακής σχολής, η ανάγνωση των πρακτικών δεν της προσφέρει καμία πληροφορία. Άρα λοιπόν, το ίδιο ακριβώς κείμενο, η ίδια διάταξη χαρακτήρων στο χαρτί, τα ίδια bit δεδομένων στο αρχείο των πρακτικών όπως αποθηκεύτηκε στον υπολογιστή, περιλαμβάνουν, ανάλογα τον αναγνώστη διαφορετική ποσότητα πληροφορίας. Αντίστοιχα, αν παραχθεί ένας αλγόριθμος τυχαίας επιλογής χαρακτήρων, η πιθανότητα να προκύψει μία πραγματική λέξη είναι πάρα πολύ μικρή. Επομένως, η πιθανότητα να προκύψει κάτι το οποίο μπορεί να μεταδώσει μία «πληροφορία» είναι πολύ μικρή. Τα παραπάνω αφορούν τη μετάδοση ενός μηνύματος από έναν πομπό, τα οποία ο δέκτης δύναται ή όχι να αποκρυπτογραφήσει.

Στην περίπτωση της οντοφορίας, η έννοια του μηνύματος δεν υπάρχει. Το που «κοιτάει» ο ήλιος, για παράδειγμα, θα προκαλέσει τη στρέψη ενός φυτού. Αυτή η διαδικασία είναι οντοφορική. Δεν έχουμε τη μετάδοση κάποιου μηνύματος από έναν πομπό σε έναν δέκτη. Έχουμε από την άλλη την εκ νέου οργάνωση του χώρου, όπως αποτυπώνεται με τον προσανατολισμό των ηλιακών ακτινών και τη στρέψη του φυτού. Στην οντοφορία δε μας αφορά το τι θα συμπεράνει ο πρόεδρος της σχολής, ο φοιτητής ή η γιαγιά του όταν διαβάζουν τα πρακτικά, για παράδειγμα, 10.000 χαρακτήρων. Έχουμε αναφέρει ότι η εντροπία εκφράζει τον αριθμό των πιθανών διατάξεων ενός συστήματος. Εκεί εδράζεται η έννοια της οντοφορίας, στις δυνατότητες δηλαδή που ανοίγονται αναφορικά με την οργάνωση και τη δράση κάποιων δομών (οντοτήτων, συστημάτων).

Η οντοφορία είναι με άλλα λόγια ο πάροχος των πιθανών καταστάσεων, καθώς και αυτός ο οποίος θέτει τους κανόνες για το τι είναι επιτρεπτό και τι όχι σε μία οργάνωση. Η οργάνωση ενός κβαντικού πεδίου, η «γεωμετρία» του, είναι οντοφορική διαδικασία. Μέσω αυτής, τα πεδία μεταβαίνουν σε διαφορετικές καταστάσεις με ανάλογα ενεργειακά και υλικά συνεπακόλουθα. Αντίστοιχα παραδείγματα οντοφορικών διαδικασιών είναι τα εν δυνάμει patterns τα οποία δημιουργούνται από τη διαδοχή νουκλεοτιδίων, μοριακών

λατινογενείς γλώσσες, η έννοια information παράγεται από το ρήμα informare, το οποίο επί λέξει σημαίνει «δίνω μορφή». Στην Αναγέννηση η σημασία του ήταν «δίνω οδηγίες» (to instruct).

οργανώσεων ή χαρακτήρων αλφαβήτου. Η οντοφορία δίνει τη δυνατότητα στις – υπαρκτές ή εν δυνάμει – οντότητες να «δοκιμάζουν συνταγές». Την ιδέα αυτή των «πληροφοριακών συνταγών» περιγράφει και ο Deacon. Οι σημαντικές πληροφορίες οι οποίες εξάγονται από δομές με νόημα (π.χ. μία δεδομένη κρυσταλλικών ένωση, ένα χρωμόσωμα ή μια λέξη) δεν είναι παρά ένα μικρό υποσύνολο ενός ευρύτερου συνόλου πληροφοριακών καταστάσεων (informational states), το οποίο μπορεί να ονομαστεί ως «πληροφοριακό δυναμικό» (information potential). [81] Αντίστοιχα, ο Lloyd, παραλληλίζοντας το σύμπαν σαν ένα τεράστιο υπολογιστή ο οποίος επεξεργάζεται κβαντική πληροφορία, περιγράφει τα συστήματα ως παράγωγα ενός κβαντικού ζαριού (λόγω του πιθανοκρατικού χαρακτήρα της κβαντικής φυσικής). [9]

Επανερχόμαστε στην άποψη που λέει ότι η φυσική είναι γεωμετρία, η γεωμετρία ενός χώρου διαμορφώνει πεδία, τα οποία ορίζουν τις εν δυνάμει φυσικές δράσεις, μία εκ των οποίων είναι και η γέννηση της ύλης. Στην άποψη αυτή στηρίζεται η έννοια της οντοφορίας. Η οντοφορία είναι αυτή η οποία προσδίδει ιδιότητες στα σημεία του χώρου²⁵ δημιουργώντας «πεδία» τα οποία λόγω των ιδιοτήτων τους επιβάλλουν τα κάθε είδους φαινόμενα. Αυτές οι ιδιότητες είναι οι πληροφορίες που κάθε οντότητα περιέχει και οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις είναι διαχειρίσιμες. Η οντοφορία λοιπόν επιβάλλει τους τρόπους οργάνωσης των χώρων (τα πεδία δηλαδή). Μέσω της επιβολής αυτής, ο χώρος αποκτά μία συγκεκριμένη οργάνωση από την οποία μπορούμε να εξάγουμε πληροφορίες. Πρόκειται για μία αντιστροφή στην αιτιότητα ενός φαινομένου (βασικά του τρόπου παρατήρησης του φαινομένου). Η οντοφορία επιβάλλει το πώς θα δομηθεί ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (top – down αιτιότητα). Όταν το πεδίο πάρει μορφή, μπορούμε να το εξετάσουμε παρατηρώντας τις δυναμικές του γραμμές και να εξάγουμε πληροφορίες για το πεδίο αυτό (bottom – up αιτιότητα). Παρατηρούμε την αναγκαιότητα υιοθέτησης του όρου «οντοφορία» σε αντιπαράβολή με τον συγγενή όρο «πληροφορία».

Η επιλογή του όρου «οντοφορία» προσπαθεί να λειτουργήσει παράλληλα σαν συγκεκριαλιωτική ομπρέλα των διάφορων εκδοχών του όρου «πληροφορία» υπό το πρίσμα μίας οντολογίας, εμπνευσμένης από τις φυσικές επιστήμες.²⁶ Αυτή η οντολογική

²⁵ «Ο χώρος είναι η πιο θεμελιακή «μορφή ή ουσία» της ύπαρξης και η καταγωγή κάθε δομής. Η οροθέτηση και η μετάφραση των συστατικών του αποτελούν τη βάση όλων των ενεργειών ή της φαινομενολογίας. (Αυτό είναι γενικά γνωστό σχετικά με την πραγματικότητά μας η οποία σχηματίζεται από τη δυναμική ενέργεια καθώς, αν και όχι τόσο προφανώς, και από την ηλεκτροστατική ενέργεια, οι οποίες είναι ενέργειες της γεωμετρίας ή της θέσης. Αυτή η βάση για την ενέργεια (χώρος και γεωμετρία) είναι μία θεμελιακή μορφή πληροφορίας (οντοφορίας για την ακρίβεια, *σημείωση Γ. Καμπουράκη*) η οποία σηματοδοτεί τα κοσμολογικά θεμέλια της συνείδησης. Αυτή η παράθεση επίσης συνδηλώνει την πιο στοιχειώδη βάση της δομικής φαινομενολογίας.» [253]

²⁶ «... δύο είναι οι λόγοι για τους οποίους η πληροφορία μπορεί να παίζει κεντρικό ρόλο σε μία επιστημονική οντολογία. Το βασικό σημείο είναι ότι η πληροφορία προκαλεί με αιτιώδη συνάφεια αλλαγές στον κόσμο μας – κάτι το οποίο είναι άμεσα αντιληπτό από έναν ανθρώπινο παράγοντα. Αλλά ακόμα και σε κβαντικό επίπεδο, η πληροφορία παίζει ρόλο. Μία κυματοσυνάρτηση αποτελεί μία συμπίκνωση όλων όσων γνωρίζουμε για ένα κβαντικό σύστημα. Όταν γίνεται μία παρατήρηση και επομένως αλλάζει αυτή η συμπτωκνωμένη γνώση, τότε αλλάζει με τη σειρά της και η κυματοσυνάρτηση, και ως εκ τούτου η συνεπαγόμενη κβαντική εξέλιξη του συστήματος. Επίσης, οι πληροφοριακές δομές παίζουν αδιαμφισβήτητα αιτιώδη ρόλο στις υλικές κατασκευές (constellations), όπως βλέπουμε, για παράδειγμα στο φυσικό φαινόμενο του συντονισμού, ή στα βιολογικά συστήματα, όπως η ακολουθία DNA. Τι είναι ένα γονίδιο άλλωστε, παρά ένα σετ από κωδικοποιημένες οδηγίες προς ένα μοριακό σύστημα για το πώς να εκτελέσει κάτι; Καμία εξελικτική θεωρία δεν μπορεί να περιγράψει μία επεξηγηματική λειτουργία αν

προσέγγιση, η οποία ενυπάρχει και στον αγγλικό όρο «ITformation», έχει υπαινιχθεί στη διάσημη φράση του Wheeler «It from bit». Με τη φράση αυτή ήθελε να αναδείξει ότι οποιοδήποτε «αυτό» (it) είναι παράγωγο της πληροφορίας (το bit είναι η μη περεταίρω αναγώγιμη μονάδα πληροφορίας).

«Κάθε αυτό – κάθε σωματίδιο, κάθε πεδίο κάποιας δύναμης, ακόμα και το χωροχρονικό συνεχές το ίδιο – αποκτά τη δράση του, το νόημά του, την ίδια του την ύπαρξη – εμμέσως σε κάποιες περιπτώσεις – από «μηχανισμούς απάντησης» σε ερωτήσεις τύπου ναι ή όχι (apparatus-elicited answers to yes or no questions), σε δυαδικές επιλογές, σε bits. Το «It from Bit» συμβολίζει την ιδέα ότι κάθε αντικείμενο του φυσικού κόσμου έχει κατά βάθος – στις περισσότερες περιπτώσεις σε «πολύ βάθος» – μία άυλη πηγή και εξήγηση. Αυτό το οποίο ονομάζουμε πραγματικότητα προκύπτει σε τελική ανάλυση από την απόκριση σε ναι ή όχι ερωτήσεις καθώς και στην καταχώρηση της απόκρισης κατάλληλων εξοπλισμών (registering of equipment-evoked responses). Εν συντομία, όλα τα φυσικά πράγματα έχουν πληροφοριακή θεωρητική προέλευση και το σύμπαν μας είναι συμμετοχικό (participatory).» [82]

Ενώ λοιπόν για την αντίληψη την οποία έχουμε ως ανθρωπότητα, ραχοκοκαλιά της πραγματικότητας (όπως την αντιλαμβανόμαστε τουλάχιστον) είναι η ύλη, για τη σύγχρονη φυσική συμβαίνει μία μετατόπιση. Τον ρόλο της ύλης τείνει να τον πάρει η έννοια της πληροφορίας. Άλλωστε, αναφορικά με το τι είναι «πραγματικό», η φυσική πραγματικότητα δημιουργεί παρατηρητές (εν προκειμένω τον ανθρώπινο παράγοντα), οι οποίοι με τη σειρά τους δημιουργούν τη φυσική πραγματικότητα. «Η φυσική αναδεικνύει το ρόλο του συμμετοχικού παρατηρητή, η συμμετοχική παρατήρηση αναδεικνύει την πληροφορία, ενώ η πληροφορία τη φυσική». [82] Τη σημασία της οντοφορίας – παρόλο που δεν χρησιμοποιεί τον ίδιο όρο προφανώς – την υπαινίσσεται λέγοντας ότι: «Η πληροφορία ίσως δεν είναι απλώς ότι μαθαίνουμε για τον κόσμο. Ίσως είναι αυτό που δημιουργεί τον κόσμο. Ένα παράδειγμα της ιδέας του it from bit είναι το εξής: όταν ένα φωτόνιο απορροφάται, και ως εκ τούτου «μετριέται», πριν την απορρόφησή του δεν είχε κάποια αληθινή πραγματικότητα. Ένα αδιαίρετο bit πληροφορίας προστέθηκε στη γνώση μιας για τον κόσμο, και ταυτόχρονα, αυτό το bit όρισε τη δομή ενός μικρού μέρους του κόσμου. Δημιούργησε την πραγματικότητα του χρόνου και του χώρου της αλληλεπίδρασης του φωτονίου». [83]

Έτσι λοιπόν, στη σύγχρονη επιστήμη υπάρχει σε εξέλιξη μία ραγδαία μεταστροφή. Είναι πλέον κοινή ομολογία ότι η πληροφορία έχει αναχθεί σε φυσικό μέγεθος μέγιστης σημασίας. Η άγνοια, η αβεβαιότητα, η εντροπία, η γεωμετρία των πεδίων, η μαθηματική μοντελοποίηση του σύμπαντος, είναι αντικείμενα και έννοιες τα οποία για αρκετές δεκαετίες πλέον πρωταγωνιστούν στο επιστημονικό γίγνεσθαι. Το ότι μπορούμε να εξάγουμε πληροφορίες, το ότι μπορούμε να γνωρίσουμε καλύτερα δηλαδή, οντότητες και συστήματα μελετώντας τα είναι μάλλον μία πανάρχαια τακτική. Ο εντοπισμός των

δεν αναφερθεί στον καθοδηγητικό (instructional) ρόλο των ακολουθιών του DNA, και άλλων τοπολογικών δομών. Αλλά ούτε μία γέφυρα ή ένας ουρανοξύστης μπορούν να κατασκευαστούν επιτυχώς χωρίς να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο του συντονισμού. Έτσι, μπορεί να δειχθεί ότι όπως τα πληροφοριακά γεγονότα είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας στα χαμηλότερα επίπεδα της κβαντικής πραγματικότητας, έτσι και οι πληροφοριακές δομές είναι εξίσου μεγάλης σημασίας σαν κινητήριες δυνάμεις ενός ιστορικού ζεδιπλώματος της φυσικής πραγματικότητας». [241]

patterns, των συμμετριών, των κανονικοτήτων, των σχέσεων των συστατικών των συστημάτων εδράζεται στο κέντρο κάθε επιστημονικής μεθοδολογίας. Πρόκειται βασικά για το «Bit from It». Η πληροφορία (bit) την οποία αποκομίζουμε μελετώντας κάθε οντότητα (it). Η μεταστροφή όμως έγκειται στο ανάστροφο, στο «It from Bit». Η πληροφορία δεν εξάγεται απλώς, αλλά ορίζει την υπόσταση των οντοτήτων. Διατυπώνει τους κανόνες δόμησής τους και διαμορφώνει το πεδίο δράσης τους, το οποίο θα αποκαλυφθεί μέσω πληροφοριακών, ενεργειακών και υλικών διαδικασιών. Για το λόγο αυτό η εισαγωγή ενός νέου όρου κρίνεται απαραίτητη. Και ο όρος «οντοφορία» (itformation) αξιώνει να καταστήσει σαφή και κατανοητή τη νέα αυτή μεταστροφή.

Η πληροφορία λοιπόν καλείται να απαντήσει στο ερώτημα του «πώς» ενώ η οντοφορία του «γιατί». Γιατί υπάρχουν αυτά τα δεδομένα πλανητικά συστήματα, οι γαλαξίες, οι μαύρες τρύπες, οι μοριακές ενώσεις, οι χημικές ουσίες, οι άνθρωποι, η άμμος και η θάλασσα και όχι άλλα, αντί για αυτά; Γιατί οι γνωστές μας μαθηματικές εξισώσεις είναι αυτές που διέπουν τη λειτουργία του σύμπαντος και όχι άλλες; Γιατί η βαρύτητα ελαττώνεται με το τετράγωνο της απόστασης και όχι με τον κύβο; Γιατί ο χωροχρόνος είναι τετραδιάστατος και όχι επταδιάστατος; Γιατί τα μποζόνια έχουν ακέραιο σπιν ενώ τα φερμιόνια ημιακέραιο; Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη της απάντησης στο ερώτημα του γιατί το σύμπαν μας είναι έτσι δομημένο. Για τον Wheeler αυτό είναι άλλωστε το ζητούμενο της σύγχρονης επιστήμης – «...δεν έχουμε να αναζητήσουμε τίποτα λιγότερα παρά τα ίδια τα θεμέλια των φυσικών νόμων» [84] – σε αντιδιαστολή με την προηγούμενη φάση, στην οποία το ζητούμενο ήταν η εύρεση των νόμων, χωρίς όμως να απασχολεί η καταγωγή τους. Για τον λόγο αυτό μάλιστα, είχε προτείνει ένα κλειστό κύκλωμα, στο οποίο οι φυσικοί νόμοι δεν ερμηνεύουν απλώς το σύμπαν, αλλά και το σύμπαν με τη σειρά του ορίζει τους φυσικούς νόμους. [85]

Αυτά είναι τα ερωτήματα τα οποία η μελέτη της οντοφορίας θα κληθεί να απαντήσει.

Η μεθοδολογική διαδικασία την οποία ακολουθεί η επιστήμη είναι η εύρεση των μαθηματικών περιγραφών ενός φαινομένου, μέσω της οποίας θα διατυπωθούν οι φυσικοί νόμοι, ενώ η μελέτη των νόμων αυτών θα μας δώσει στοιχεία για την πληροφορία των προς εξέταση φυσικών οντοτήτων. Για παράδειγμα, ο Einstein εμπνεύστηκε πρώτα από τη γεωμετρία του Riemann και μέσω αυτής διατύπωσε τη θεωρία της Γενικής Σχετικότητας. Το μαθηματικό εργαλείο δημιούργησε την φυσική θεωρία. Αντίστοιχα, κανείς δεν έχει δει μία μαύρη τρύπα, ούτε σκοτεινή ενέργεια. Κανείς δεν έχει δει ένα φωτόνιο μάλιστα αυτό καθ' αυτό. Μαθηματικά μοντέλα «κούμπωσαν» με την παρατήρηση και οδήγησαν στην ανάπτυξη φυσικών θεωριών. Ο Davies παρατηρεί ότι από το «Mathematics→Physics→Information», η σύγχρονη φυσική προτείνει μία ανεστραμμένη σκέψη: «Information→Laws of Physics→Matter». Το τεκμηριώνει λέγοντας: «με βάση την ορθόδοξη οπτική, οι μαθηματικές σχέσεις είναι τα πιο βασικά στοιχεία της ύπαρξης. Ο φυσικός κόσμος είναι μια έκφραση ενός υποσυνόλου των μαθηματικών σχέσεων, ενώ η πληροφορία είναι δευτερεύουσα, ή εξαγόμενη, έννοια η οποία χαρακτηρίζει συγκεκριμένες καταστάσεις της ύλης (όπως αν ένας διακόπτης είναι ανοικτός ή κλειστός, ή αν το σπιν ενός ηλεκτρονίου είναι πάνω ή κάτω). Όμως, μία εναλλακτική θεώρηση κερδίζει έδαφος: μία οπτική στην οποία η πληροφορία θεωρείται ως πρωταρχική οντότητα από την οποία δομείται η φυσική πραγματικότητα. Αυτή η θεώρηση είναι διαδεδομένη μεταξύ φυσικών και μαθηματικών οι οποίοι ασχολούνται με τον υπολογισμό, κυρίως φυσικών οι οποίοι εργάζονται στον κβαντικό υπολογισμό. Το

πιο σημαντικό όμως είναι ότι δεν πρόκειται απλώς για μία τεχνική μεθοδολογική αλλαγή, αλλά αναπαριστά μία ριζοσπαστική μετατόπιση στην οπτική μας για τον κόσμο, η οποία εύστοχα αποτυπώνεται στο σλόγκαν του Wheeler «It From Bit»». [86]

Το βασικό ερώτημα της φιλοσοφίας (και της θεολογίας θα μπορούσε να πει κανείς) είναι από πού πηγάζει η πραγματικότητα.²⁷ Ο Vedral θεωρεί ότι θεμέλιος λίθος της πραγματικότητας είναι η πληροφορία [8]. Ο Lloyd πιστεύει ότι μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σωματιδίων δεν μεταδίδεται μόνο ενέργεια αλλά και πληροφορία. Με άλλα λόγια, τα σωματίδια δεν συγκρούονται απλώς, αλλά υπολογίζουν (compute). Θεωρεί ολόκληρο το σύμπαν σαν ένα μεγάλο κβαντικό υπολογιστή, ο οποίος υπολογίζει τη δικιά του δυναμική εξέλιξη. Μέσω της εξέλιξης του υπολογισμού αυτού ξεδιπλώνεται και η πραγματικότητα. [9], [87] Ο Γαλιλαίος έλεγε ότι το βιβλίο του σύμπαντος είναι γραμμένο σε μαθηματική γλώσσα. Ο Tegmark αναζητώντας τη φύση της πραγματικότητας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το σύμπαν δεν εκφράζεται απλώς με μαθηματικά, αλλά είναι μαθηματικά στη φύση του. [88]

Δεν έχει σημασία ποια μεθοδολογία ή ποια επιστημονική αρχή ακολουθούν οι παραπάνω συλλογιστικές πορείες. Αυτό το οποίο συγκεφαλαιώνει όλες τις αντιλήψεις είναι ότι θεμέλιος λίθος της πραγματικότητας είναι οντοφορικές διαδικασίες. Γιατί η οποιαδήποτε μέθοδος υπολογισμού (computation), κλασική ή κβαντική, ή οποιαδήποτε μαθηματική διεργασία είναι παράγωγο της οντοφορίας. Ο λόγος είναι ότι η οντοφορία οργανώνει τον χώρο (τον όποιο χώρο) και του προσδίδει ιδιότητες. Αυτό κάνει ακριβώς και η όποια μαθηματική, αλγοριθμική, υπολογιστική διαδικασία. Οργανώνει τον χώρο των αριθμών (και όχι μόνο: για παράδειγμα, η γεωμετρία οργανώνει «πραγματικούς» χώρους). Για παράδειγμα, το πυθαγόρειο θεώρημα δημιουργεί σχέσεις μεταξύ όλων εκείνων των αποστάσεων οι οποίες υπακούν στον κανόνα ότι το τετράγωνο της μιας ισούται με το άθροισμα των τετραγώνων των άλλων δύο. Αντίστοιχα, η χρυσή τομή, οι πρώτοι αριθμοί, τα κυψελωτά αυτόματα, είναι μόνο κάποια από τα παραδείγματα τα οποία αποτελούν διαδικασίες οργάνωσης, μέσω των οποίων γεννιούνται δομές, οι οποίες λόγω της οργάνωσης και της δομής τους έχουν κάποιες ιδιότητες. Αυτό ακριβώς είναι η οντοφορία: η διαδικασία μέσω της οποίας αποκτούν την οργάνωσή τους οι οντότητες και μέσω αυτής αποκτούν ιδιότητες. Με άλλα λόγια, η οντοφορία γεννάει πεδία, μέσω των

²⁷ Η πραγματικότητα είναι από μόνη της ιδιαίτερα περίπλοκη έννοια. Ο εμπειρισμός πρεσβεύει ότι πραγματικό είναι αυτό το οποίο μπορούμε να αντιληφθούμε. Για έναν τυφλό όμως τα χρώματα είναι κομμάτι της πραγματικότητας; Άρα, ανάλογα με τη δυνατότητα πρόσληψης προκύπτουν και πολλαπλές πραγματικότητες; Δε θα επεκταθούμε περαιτέρω στα φιλοσοφικά αυτά ερωτήματα. Ως πραγματικότητα θεωρούμε μάλλον το ανάποδο από τον εμπειρισμό. Πραγματικό είναι αυτό το οποίο υπάρχει ανεξάρτητα από τις αισθήσεις μας. Βαθιά ριζωμένοι όμως σε μία ανθρωποκεντρική στάση ξεχνάμε ότι υπάρχουν ήχοι πέρα από τα όρια του ακουστού φάσματος ή ότι η συμπαγής ύλη την οποία εμείς αντιλαμβανόμαστε είναι ένας ανθρώπινος μύθος. Αυτό που υπάρχει είναι μίας μορφής κοχλάζουσα ενέργεια την οποία το βιολογικό μας σύστημα την μεταφράζει ως, αυτό το οποίο ο άνθρωπος θεωρεί, ύλη. Ξεχνάμε ότι δεν υπάρχει καν «επαφή», παρά μόνο απωστικές δυνάμεις. Αν επεκτείνουμε τους προβληματισμούς αυτούς, χωρίς κάποια επιστημονικά κανονιστικά πλαίσια, ελλοχεύει ο κίνδυνος να καταλήξουμε σε μεταφυσικές επικίνδυνες γενικεύσεις, προσεγγίσεις ή απλουστεύσεις. Ανεξάρτητα λοιπόν με το τι δύναται να παρατηρήσει ο άνθρωπος, ένας ευαίσθητος αισθητήρας, ένας «εξωγήινος», ή ένα σωματίδιο όταν αλληλοεπιδρά με αυτά γύρω του, η πραγματικότητα είναι ως επί το πλείστον οργανώσεις του χώρου, που ανάλογα με τον παρατηρητή αποκτούν άλλες μεταφράσεις.

οποίων συμβαίνουν οι δράσεις. Και οι δράσεις για να συμβούν αξιοποιούν την ενέργεια ή/και την ύλη.

Στο σημείο αυτό πρέπει να διασαφηνιστεί η διαφορά του πληροφοριακού περιεχομένου μιας οντότητας με την οντοφορία του. Το πληροφοριακό περιεχόμενο είναι το άθροισμα από τα επί μέρους χαρακτηριστικά της, τα οποία τη διαχωρίζουν από τις υπόλοιπες οντότητες. Είναι οι ιδιότητές της. Αποτελούν το αποτέλεσμα της εξερεύνησής της. Είναι με άλλα λόγια η τιμή η οποία παίρνουν τα χαρακτηριστικά αυτά. Για παράδειγμα, ένα μήλο, σε σχέση με ένα άλλο έχει διαφορετικό χρώμα, σχήμα, υφή, αλλοιώσεις στη φλούδα, στρέψη στο κοτσάνι, πυκνότητα κ.α.. Η οντοφορία δεν αφορά τις τιμές αυτές. Αντίθετα, αφορά την ύπαρξη των ιδιοτήτων αυτών καθ' αυτών. Μάλιστα, μέσω της οντοφορίας μπορεί να απαντηθεί το γιατί το συγκεκριμένο μήλο έχει αυτά τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία το καθιστούν αναγνωρίσιμο σε σχέση με τα υπόλοιπα. Αντίστοιχα, η συνταγή για ένα φαγητό δεν είναι το πληροφοριακό του περιεχόμενο. Το πληροφοριακό περιεχόμενο ενός φαγητού είναι η γεύση του, η αίσθηση των επιμέρους συστατικών του, η υφή, το σχήμα, τα χρώματα, η θερμοκρασία σεβρισίματος και ούτω καθεξής. Επίσης, το πληροφοριακό περιεχόμενο μίας οντότητας δεν πρέπει να συγγέεται με τις ενδείξεις για το πληροφοριακό περιεχόμενο αυτό. Για παράδειγμα, το πληροφοριακό περιεχόμενο μίας τοποθεσίας αναφορικά με τη γεωγραφική σχέση των επί μέρους τμημάτων της (π.χ. για τον Ελλαδικό χώρο, ότι η Θεσσαλονίκη είναι βορειότερα της Αθήνας, η οποία είναι ανατολικότερα από την Πάτρα) εντοπίζεται στα ίδια τα τμήματα αυτά καθ' αυτά, και όχι στον χάρτη απεικόνισης. Ο χάρτης είναι ένας μετασχηματισμός ο οποίος φέρει στοιχεία για το πληροφοριακό περιεχόμενο. Άλλα ανάλογα είναι η πινακίδα «προσοχή, κίνδυνος ολισθηρότητας» (που αφήνουν οι καθαριστές/στριες μετά το σφουγγάρισμα), μία παρτιτούρα, ή ο πίνακας με τις RGB τιμές των pixels μιας εικόνας.²⁸

Αναφέραμε προηγουμένως ότι η οντοφορία δημιουργεί τα πεδία μέσω των οποίων οργανώνονται και δρουν οι οντότητες (μέσα της διαδικασίας αυτής αποκτούν ιδιότητες, οι οποίες διαμορφώνουν το πληροφοριακό τους περιεχόμενο). Για να γίνει ακόμα πιο αντιληπτή αυτή η θεώρηση μπορούμε να καταφύγουμε στη φράση του κυβερνιστή, ανθρωπολόγου και σημειολόγου, του Gregory Bateson: «πληροφορία είναι μία διαφορά η οποία παράγει μια διαφορά» (information is a difference that makes a difference). Στην πραγματικότητα, στον ορισμό αυτό αναφέρθηκε όχι στην πληροφορία γενικά, αλλά στη στοιχειώδη μονάδα πληροφορίας (elementary unit of information). [58] Ο ορισμός του είναι αρκετά συγγενικός τόσο με τη φράση του Wheeler «It from Bit», όσο και με τη δική μας θεώρηση περί οντοφορίας. Για να έχει μία οντότητα υπόσταση πρέπει να μπορεί να έχει ιδιότητες / χαρακτηριστικά (με άλλα λόγια, πληροφοριακό περιεχόμενο). Για να μπορούν να διακρίνονται οι ιδιότητες αυτές πρέπει να διαφέρουν, αλλιώς δεν έχουν λόγο ύπαρξης ως ιδιότητες. Αν ένας παίκτης του μπάσκετ έχει ύψος 2,104m και ένας άλλος 2,101m αυτή η διαφορά δε συνιστά όμως διαφορετική ιδιότητα, άρα δε συνιστά διαφορετικό πληροφοριακό περιεχόμενο. Αν μία οντότητα ταυτοποιείται από το πληροφοριακό της περιεχόμενο τότε μπορούμε να πούμε, ισοδύναμα, ότι είναι παράγωγο

²⁸ Την πινακίδα, τη συνταγή, τον χάρτη και την παρτιτούρα, ο Sloman τα χαρακτηρίζει ως τα φέροντα πληροφορία (information bearers) για να αναδείξει ότι η πληροφορία δεν υπάρχει σε αυτά, αλλά στο ίδιο το ολισθηρό έδαφος, το φαγητό, τον γεωγραφικό τόπο και το μουσικό κομμάτι. [89]

διαφορών. Η διαφορά είναι η ιδιότητα, και το είδος της διαφοράς αφορά την τιμή της ιδιότητας. Η πληροφορία λοιπόν είναι διαφορά. Όχι όμως η οποιαδήποτε διαφορά. Η διαφορά η οποία μπορεί να προσδώσει διαφορετικά χαρακτηριστικά / ιδιότητες (όπως μία μεγαλύτερα διαφορά ύψους στους δύο προαναφερθέντες παίκτες του μπάσκετ). Η οντοφορία προκύπτει από το δεύτερο σκέλος του ορισμού του Bateson («...that makes a difference»), ή ορθότερα, από τον τροποποιημένο ορισμό του Sloman [89]:«...η οποία δύναται να παράξει μια διαφορά» («...that CAN make a difference»). Η εν δυνάμει διαφορά η οποία (δύναται) να παραχθεί είναι ακριβώς η έννοια του πεδίου. Ένα πεδίο διαμορφώνει τις εν δυνάμει δράσεις. Διαμορφώνει τους όρους ώστε κάτι να συμβεί ή να μη συμβεί. Επιστρέφουμε στην ουσία της οντοφορίας, ως τη γεννήτρια των κάθε λογής πεδίων. Η πληροφορία είναι ανιχνεύσιμη διαφορά, η οντοφορία είναι η εν δυνάμει παραγωγή διαφοράς (=ιδιοτήτων / χαρακτηριστικών). Και για τον ίδιο τον Bateson μάλιστα, η διαφορά στην οποία αναφέρεται δεν είναι υποχρεωτικά ένα πράγμα ή ένα γεγονός, αλλά μία «αφηρημένη ύλη» της οποίας η ουσία μπορεί να βρεθεί εγγαραγμένη σε μία μορφή (form) και σε ένα πρότυπο (pattern), και η οποία μπορεί να παράξει δράσεις (effects). [58] Παρατηρούμε ότι και εδώ έχουμε οργανώσεις του χώρου (μορφές και πρότυπα), οι οποίες παράγουν εν δυνάμει δράσεις.

Αναφορικά με τη θεωρία αυτή του Bateson ο Ali αναφέρει: «Πολύ σημαντική, όσον αφορά την πλαισίωση της έννοιας της βασικής μονάδας πληροφορίας, ο Bateson κάνει αναφορά στον ισχυρισμό του Kant, στο έργο του «Η Κριτική της Κριτικής Ικανότητας» (Critique of Judgement), σύμφωνα με τον οποίο η πιο στοιχειώδης αισθητική πράξη είναι η επιλογή ενός γεγονότος, μέσα από έναν άπειρο αριθμό πιθανών γεγονότων τα οποία σχετίζονται με ένα πράγματα. Έχοντας αυτό ως βάση, ο Bateson οδηγείται στον ισχυρισμό ότι υπάρχει ένας άπειρος αριθμός διαφορετικοτήτων οι οποίες συνδέονται με ένα πράγμα, και ότι η πληροφορία για κάποιον (ή κάτι) αναφέρεται σε ένα πολύ περιορισμένο αριθμό αυτών των συγκεκριμένων διαφορετικοτήτων οι οποίες έχουν επιλεγεί από ένα άπειρο σύνολο. Οι διαφορές οι οποίες επιλέγονται κάνουν διαφορά σε κάποιον (ή κάτι), για το(ν) οποίο θεωρούνται ως σημαντικά σε κάποιο πλαίσιο. Επομένως, η έννοια της πληροφορίας για τον Bateson είναι θεμελιώδης στη φύση της, τόσο επειδή προσδίδει τα συμφραζόμενα όσο επειδή παρέχει σχέσεις αιτιότητας (contextual and causal in nature)». [16] Αυτή η ερμηνεία του Ali περιλαμβάνει τόσο τις πολλαπλές δυνατές διατάξεις, το πληροφοριακό δυναμικό, οι οποίες είναι προϋπόθεση της οντοφορίας, όσο και τον ρόλο της, ως το μέσο μέσω του οποίου οι οντότητες αποκτούν ιδιότητες μέσα σε ένα πλαίσιο (context) και λειτουργεί ως η αιτία της μορφής της (causal).

Όπως είχαμε αναφέρει άλλωστε, και όπως σημειώνει και ο Capurro [90], ο όρος πληροφορία (information), τουλάχιστον στην ελληνική και λατινική του καταγωγή και στη χρήση του από τον μεσαίωνα και έπειτα, έχει δύο βασικές σημασίες: i) δίνω μορφή σε κάτι και ii) αναφέρω κάτι νέο. Αναφορικά με την πρώτη ερμηνεία, ο von Bayer εκκινά από την ετυμολογία της λέξης για να εξηγήσει το πώς η πληροφορία επιβάλλει την μορφή μιας οντότητας. («*Information is the infusion of form on some previously unformed entity, just as de-, con-, trans-, and re-formation refers to moulding or shaping a formless heap – imposing a form onto something.*»). Την έννοια μορφή τη συσχετίζει με την προσέγγιση του Πλάτωνα στην έννοια «είδος» (από την οποία κατάγεται η

«ιδέα»), η οποία νοείται ως το συνολικό άθροισμα των σημαντικών ιδιοτήτων ενός πράγματος. [91]

Ανακεφαλαιωτικά, προσεγγίσαμε την έννοια της οντοφορίας αρχικά από τις φυσικές επιστήμες, αλλά συνεχίσαμε δανειζόμενοι στοιχεία από την ανθρωπολογία, την κυβερνητική ακόμα και τη γλωσσολογία. Άλλωστε, η προσέγγιση αυτή της πληροφορίας, όπως και κάθε οντολογική προσέγγιση από τη φύση της, έχει εγγενώς στοιχεία φιλοσοφίας. Η Hayles παρατηρεί ότι ενώ η έννοια της πληροφορίας ήταν αρχικά συμπαγής και αναφέρονταν σε απτές, υλικές οντότητες, παρατηρήσιμες από τις αισθήσεις μας, μετατοπίστηκε σε μία έννοια η οποία δεν χαρακτήριζε τόσο πολύ πλέον την φυσική παρουσία μιας οντότητας (μέσω της υλικότητάς της ως επί το πλείστον) αλλά κυρίως τη μορφή, τη δομή, τα patterns. [62] Απέκτησε λοιπόν μία νέα χροιά η οποία οντολογικά είναι πολύ χρήσιμη, αφού μπορεί να λειτουργήσει σαν ομπρέλα ερμηνείας κάθε λογής οντοτήτων, από αυτές του καθημερινού υλικού μας κόσμου, τις μυστηριακές οντότητες του σύμπαντος (π.χ. τις μαύρες τρύπες), ή ακόμα και φαντασιακές ή πολιτισμικές οντότητες (π.χ. ένα μουσικό έργο, ή ένας ήρωας ενός παραμυθιού).

1.4.2 Τα συστατικά της πραγματικότητας: Πληροφορία - Οντοφορία, Ενέργεια και Ύλη

Από όλα τα παραπάνω ευελπιστούμε να έχει γίνει σαφές ότι το μέχρι τώρα δίπτυχο ύλης / ενέργειας δεν επαρκεί για την περιγραφή των οντοτήτων. Η προσθήκη της πληροφορίας – με τη μορφή της οντοφορίας – δίνει μία πληρέστερη περιγραφή. Δεν υπάρχει οντότητα η οποία να αποτελείται μόνο από μάζα, αφού γνωρίζουμε ότι η μάζα περιέχει μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Πολύ μικρή μάζα μάλιστα, αντιστοιχεί σε μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αντίστοιχα, μικρή ποσότητα ενέργειας αντιστοιχεί σε μεγάλη ποσότητα οντοφορίας. Η ενεργειακή κατάσταση μιας οντότητας, τα ενεργειακά της χαρακτηριστικά (οι ενεργειακές της ιδιότητες / πληροφορίες δηλαδή), είναι απλώς ένα υποσύνολο ενός αρκετά μεγαλύτερου συνόλου πληροφοριακών καταστάσεων (πληροφοριακό δυναμικό), οι οποίες όλες μαζί ορίζουν την οντοφορία της οντότητας. Έτσι λοιπόν, οντοφορία, ενέργεια και ύλη αποτελούν ένα τρίπτυχο φυσικών ποσοτήτων τα οποία αποτελούν τα συστατικά της πραγματικότητας. Κάθε πραγματική οντότητα μπορεί να περιέχει ύλη (άρα, κατά συνέπεια, ενέργεια και οντοφορία), ενέργεια (άρα και οντοφορία), ή μόνο οντοφορία.

Έτσι λοιπόν, οποιοδήποτε κομμάτι του υλικού μας κόσμου – π.χ. μια πέτρα, ή ένα ηλεκτρόνιο – έχει τόσο υλικό, όσο και ενεργειακό και οντοφορικό περιεχόμενο. Στα παραπάνω έχουμε περιγράψει οντότητες οι οποίες δεν έχουν υλικό περιεχόμενο.²⁹ Μία από αυτές, στην οποία έχουμε αναφερθεί δεόντως, είναι το φωτόνιο. Άλλες, προφανείς ενεργειακές οντότητες, είναι όλα τα κύματα (ηλεκτρομαγνητικό, ηχητικό κ.λπ.). Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις οντοτήτων οι οποίες είναι αμιγώς οντοφορικές. Ο οποιοσδήποτε νόμος, μαθηματικός, φυσικός ή νομικός, είναι μία τέτοια οντότητα. Η δευτεροβάθμια συνάρτηση, ο νόμος του Ωμ, ακόμα και η S^n του Μπετόβεν, είναι

²⁹ Αν θέλουμε να είμαστε πιο ακριβείς, οι οντότητες αυτές δεν έχουν μάζα και ως επί το πλείστον αδρανειακή μάζα.

οντοφορικές οντότητες. Το γιατί υπάρχουν ως οντότητες αλλά και το πώς (αλληλοεπι)δρούν θα το δούμε στις αμέσως παρακάτω ενότητες.

1.4.3 «Έχει όρια άρα υπάρχει»

Στην καθημερινή μας ζωή θεωρούμε την ύπαρξη των πραγμάτων, των αντικειμένων, των οντοτήτων ως δεδομένη. Το μολύβι πάνω στο τραπέζι, το σύννεφο στον ουρανό, το λιοντάρι στη ζούγκλα, ο ήλιος και το φεγγάρι στο διάστημα, ακόμα και η μαύρη τρύπα ή το μόριο του νερού ξέρουμε (ή έχουμε πειστεί ότι ξέρουμε) ότι υπάρχουν. Είναι ξεχωριστές οντότητες, η κάθε μια μάλιστα με το δικό της όνομα (μολύβι, σύννεφο, λιοντάρι, ήλιος, φεγγάρι, μαύρη τρύπα, H₂O). Αυτή η αναγνώριση της ύπαρξης γίνεται υποσυνείδητα και αυτόματα, χωρίς να έχουμε διατυπώσει (μέσα μας έστω) σαφή κριτήρια για την κατηγοριοποίηση του τι είναι οντότητα και τι δεν είναι.

Βασική προϋπόθεση για την αναγνώριση μιας οντότητας είναι η ικανότητα διάκρισής της. Αν ανοίξουμε την κασετίνα μας μπορούμε να διακρίνουμε τη γόμα από την ξύστρα και τα μολύβια. Μπορούμε να μετρήσουμε τα μολύβια και τα στυλό και να ξεχωρίσουμε το καθένα τι μήκος έχει, τι χρώμα γραφίδα, τι αυτοκόλλητα το στολίζουν, τι μάρκα είναι και ούτω καθεξής. Αντίστοιχα, όταν οι αστρονόμοι κοιτούν με το τηλεσκόπιο μπορούν να διακρίνουν τους πλανήτες, τους γαλαξίες, τα ηλιακά συστήματα και γενικά, όλα τα συστατικά του σύμπαντος τα οποία το ένα ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα. Τέλος, αν κοιτάξουμε από αρκετά μακριά ένα δάσος, σε απόσταση που η διακριτική ικανότητα της όρασής μας δεν μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε το κάθε δέντρο από τα διπλανά του, μπορούμε με σαφήνεια να προσδιορίσουμε την οντότητα «δάσος», όχι όμως το πώς κάθε επιμέρους δέντρο συνιστά οντότητα ανεξάρτητα. Ο λόγος είναι ότι δεν μπορούμε να αποφανθούμε το που τελειώνει το ένα δέντρο και το που αρχίζει το διπλανό του. Δεν μπορούμε να τα «οριοθετήσουμε».

Βασικό στοιχείο λοιπόν της κατάταξης ενός «κάτι» στην κατηγορία των οντοτήτων είναι να μπορεί να ταυτοποιηθεί λόγω των ιδιοτήτων του, να χαρακτηριστεί ως κάτι το διακριτό από τα υπόλοιπα. Πρέπει να είναι λοιπόν οριοθετημένο, να έχει όρια. Η ιδέα του ορίου ως μέσο μίας οντολογικής προσέγγισης έχει υπαινιχθεί πρώτα από τον Παρμενίδη, πατέρα της «οντολογίας», την οποία στήριζε πάνω στο Είναι και στο Μη Είναι των πραγμάτων. Πίστευε δηλαδή ότι κάθε οντότητα είναι κάτι και παράλληλα δεν είναι κάτι άλλο. Με μεγαλύτερη σαφήνεια όμως η ιδέα του ορίου διατυπώθηκε από τον Hegel: «οτιδήποτε είναι αυτό που είναι μόνο εντός των ορίων του και λόγω των ορίων του» [92]

Η ιδέα των ορίων δεν είναι ξένη ούτε στις φυσικές επιστήμες. Ένα από τα πιο αναγνωρισμένα όρια είναι αυτό του «ορίζοντα». Γνωρίζουμε από την ειδική θεωρία της σχετικότητας ότι τίποτα δεν μπορεί να κινηθεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από εκείνη τη φωτός. Επομένως, για να μπορούν δύο σημεία του χωροχρόνου να αλληλοεπιδράσουν πρέπει η σχετική τους κίνηση να είναι τέτοια που να επιτρέπει στο φως (το οποίο έχει σταθερή ταχύτητα για όλους τους παρατηρητές ανεξάρτητα από το αδρανειακό σύστημα αναφοράς) να φτάσει από τον έναν στον άλλον. Με βάση αυτό το σκεπτικό ορίζεται ο κώνος του φωτός. Τα πάντα στο σύμπαν βρίσκονται σε μία χωρική απόσταση μεταξύ τους. Το σύμπαν όμως διαστέλλεται, επομένως αυτή η απόσταση μεγαλώνει. Υπάρχουν περιπτώσεις σημείων του χωροχρόνου τα οποία απομακρύνονται με τέτοια ταχύτητα

ώστε το φως να μην μπορεί ποτέ να ταξιδέψει από το ένα στο άλλο. Αυτά τα δύο σημεία δεν μπορούν να αλληλοεπιδράσουν, είναι ασύνδετα από κάθε αιτιώδη σχέση. Είναι αυτά τα οποία βρίσκονται εκτός του κώνου (space – like). Τα σημεία στις ακμές του κώνου ονομάζονται light – like, ενώ εσωτερικά του time – like. Το σύνορο το οποίο ορίζει ο κώνος του φωτός είναι ένα χωροχρονικό όριο το οποίο ορίζει τα τμήματα του χωροχρόνου τα οποία μπορούν να αλληλοεπιδράσουν. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη οντολογική σημασία, παρεμφερή με το Είναι και το Μη Είναι του Παρμενίδη, από την άποψη του ότι συνδέει όλα τα μέρη τα οποία έχουν αιτιακή σχέση μεταξύ τους, άρα μπορούν από κοινού να διαμορφώσουν ή να υποκύψουν σε γεγονότα.³⁰

Στον κώνο του φωτός παρατηρούμε ότι αν κόψουμε «φέτες» κάθετες στον άξονα του χρόνου, καθώς ο χρόνος (ορθότερα, η απόλυτη τιμή του χρόνου, αφού το ίδιο ισχύει και για τα παρελθοντικά γεγονότα) αυξάνεται τότε αυξάνεται αντίστοιχα ο χώρος των αιτιωδώς συνδεδεμένων σημείων. Ο τεχνικός όρος ο οποίος περιγράφει τον ορίζοντα αυτόν είναι «ορίζοντας σωματιδίου» (particle horizon [93]), επειδή διαχωρίζει τα τμήματα της ύλης με τα οποία μπορούμε να αλληλοεπιδράσουμε από εκείνα που δεν μπορούμε. Σε κάθε δεδομένο χωροχρονικό στιγμιότυπο (έχοντας «παγώσει» δηλαδή η διαστολή του σύμπαντος), ο ορίζοντας αυτός εκφράζει τον ορίζοντα του παρατηρήσιμου σύμπαντος. Ενώ λοιπόν ο σωματιδιακός ορίζοντας αναπαριστά τη μεγαλύτερη απόσταση δύο σημείων (που κινούνται ταυτόχρονα) στην οποία το φως προλαβαίνει να ταξιδέψει από το ένα στο άλλο μία δεδομένη χρονική στιγμή, υπάρχει και ένας άλλου τύπου ορίζοντας, ο ορίζοντας των γεγονότων, ο οποίος αναπαριστά την μέγιστη απόσταση δύο σημείων στην οποία αν το φως εκπεμφθεί μια δεδομένη στιγμή του χωροχρόνου δεν μπορεί ποτέ στο μέλλον να φτάσει στο άλλο. Ο λόγος είναι ότι το σύμπαν διαστέλλεται επιταχυνόμενα.

Ο Lloyd υπολόγισε μάλιστα πόσα bits πληροφορίας χωρούν στον ορίζοντα αυτό. [94] Η κβαντική μηχανική αναφέρει ότι οι καταστάσεις της ύλης είναι διακριτές – και όχι συνεχείς – ποσότητες, επομένως μπορούν να συγκροτήσουν ένα μετρήσιμο σύνολο. Υπολόγισε λοιπόν πόσοι στοιχειώδεις χώροι Planck μπορούν να χωρέσουν στον χώρο αυτό. Και επειδή οι χώροι Planck είναι οι μικρότεροι χώροι που έχουν νόημα ύπαρξης (θεωρούνται ως τα κβάντα του χώρου), άρα είναι οι μικρότεροι χώροι που κάτι μπορεί ή δεν μπορεί να συμβεί, ο καθένας αντιστοιχεί σε ένα bit πληροφορίας. Το σύμπαν λοιπόν χωράει περίπου 10^{120} bits πληροφορίας.

Ένα άλλο είδος ορίζοντα είναι αυτό της μαύρης τρύπας στο οποίο εκτενώς έχουμε αναφερθεί. Υπενθυμίζουμε ότι το εμβαδόν του ορίζοντα της μαύρης τρύπας είναι ανάλογο με την εντροπία της, ή με άλλα λόγια, με την ποσότητα πληροφορίας η οποία αποθηκεύεται σε αυτή. Η συσχέτιση της εντροπίας και της πληροφορίας με τον ορίζοντα

³⁰ Πρέπει να επισημάνουμε ότι σημεία και εκτός του κώνου (space – like) εμφανίζουν ενδείξεις αλληλεπίδρασης (πρόβλημα του ορίζοντα – horizon problem). Για παράδειγμα, η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου έχει παντού ίδια θερμοκρασία. [254] Η εξήγηση στο παράδοξο αυτό δόθηκε μέσω της ιδέας του πληθωριστικού σύμπαντος [255], το οποίο προέβλεπε την με εκθετικό τρόπο διαστολή στην αρχή του. Επομένως, στα παρελθοντικά του στιγμιότυπα ήταν πιο πυκνό, άρα τα τωρινά space like ήταν κάποτε time like (σε εν δυνάμει αιτιώδη σύνδεση μεταξύ τους λοιπόν).

των γεγονότων, ενδέχεται να μπορεί να επεκταθεί και πέραν του ορίζοντα της μαύρης τρύπας. [95]–[97]

Μία παρεμφερής με τα παραπάνω από συλλογιστικής άποψης ιδέα, η οποία επίσης συνδέει την πληροφορία με τον χώρο, είναι αυτή του ολογραφικού σύμπαντος. Ο Gerhard 't Hooft [98] και ο Leonard Susskind [99], αναγνωρίζουν ως θεμελιακή ιδιότητα του σύμπαντος την ολογραφική³¹ αρχή, με βάση την η περιγραφή ενός όγκου του χώρου (κάθε χώρο, όχι μόνο μιας μαύρης τρύπας). είναι κωδικοποιημένη σε μία επιφάνεια μικρότερης διάστασης.

Η ύπαρξη ορίων μπορεί επομένως να αποτελέσει οντολογική προϋπόθεση για τον προσδιορισμό των οντοτήτων. Από το «σκέφτομαι άρα υπάρχω» (cogito ergo sum) του Descartes, έχει προταθεί από τον κ. Καμπουράκη, τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής, η μετάβαση στο «έχει όρια άρα υπάρχει» (Habeat confines ergo Est). [80] Με τη φράση αυτή εισάγεται μία νέα οντολογική σκέψη, η οποία συμβάλει στην απομάκρυνση από μία ανθρωποκεντρική αντίληψη περί του τι υπάρχει, η οποία εκτός των άλλων φανερώνεται στην επιλογή του γ' προσώπου («αυτό» έχει όρια...) αντί για το α' πρόσωπο («εγώ» σκέφτομαι...).

Έτσι λοιπόν, σε κάθε σύνολο (πληθυσμό) θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα για διάκριση των οντοτήτων, των επιμέρους δηλαδή συστατικών του, από τις οποίες απαρτίζεται. Τα όρια δίνουν αυτή τη δυνατότητα. Είτε πρόκειται για σχηματισμούς στο διάστημα, είτε για την πανίδα μίας περιοχής, είτε για τα βιβλία μιας βιβλιοθήκης, γενικά για οποιονδήποτε πληθυσμό με μέλη, η ταξινόμηση των οντοτήτων γίνεται με βάση τις ιδιότητές τους. Η βασική ιδιότητα κάθε μέλους ενός τέτοιου πληθυσμού είναι το όριο του. Με την έννοια όριο εννοείται το χωροχρονικό γεγονός στο οποίο το μέλος αυτό συμμετέχει (ενδεχομένως περισσότερα του ενός ταυτόχρονα γεγονότα). Η αλληλουχία των χωροχρονικών γεγονότων στα οποία το μέλος αυτό συμμετέχει είναι κατ' ουσία αυτή που καθορίζει την ύπαρξη του. Έτσι αναγκαία και ικανή συνθήκη ύπαρξης είναι η διακριτική ιδιότητα του ορίου.

Αναφερθήκαμε προηγουμένως στο τρίπτυχο των συστατικών των οντοτήτων (ύλη, ενέργεια, οντοφορία). Προκύπτει λοιπόν το ερώτημα του τι συστατικά υπάρχουν στο όριο κάθε οντότητας. Επίσης, πρέπει να αναρωτηθούμε αν τα όρια είναι πολλά (άλλο το υλικό, άλλο το ενεργειακό και άλλο το οντοφορικό) ή ένα. Στην πραγματικότητα, το όριο είναι ένα, αλλά αποκτά διάφορες υποστάσεις, ανάλογα με το είδος της οντότητας. Το όριο των υλικών οντοτήτων είναι τρισυπόστατο, αφού, όπως έχουμε δει, η μάζα ισοδυναμεί με (ή εμπεριέχει) ενέργεια, και η ενέργεια με οντοφορία. Αντίστοιχα, το όριο των ενεργειακών οντοτήτων είναι δισυπόστατο (αποτελούμενο από ενέργεια και οντοφορία), ενώ των οντοφορικών οντοτήτων η υπόσταση του ορίου τους είναι αποκλειστικά οντοφορική. Η υπόσταση του ορίου της καθορίζει και τον τρόπο με τον οποίο η οντότητα αλληλοεπιδρά³².

³¹ Το ολόγραμμα είναι μία τρισδιάστατη εικόνα η οποία απεικονίζεται σε μία καμπυλωμένη δισδιάστατη επιφάνεια. Πρόκειται για έναν πληροφοριακό μετασχηματισμό ενός όγκου σε μία επιφάνεια.

³² Για παράδειγμα, οντότητες χωρίς υλική υπόσταση μπορούν να καταλαμβάνουν ταυτόχρονα το ίδιο μέρος του φυσικού χώρου. Ένα παράδειγμα είναι τα ηλεκτρομαγνητικά ραδιοφωνικά κύματα τα οποία μπορούν να μοιράζονται το ίδιο χωροχρονικό όριο αλλά να φέρουν διαφορετικά μηνύματα.

Με τη θεώρηση αυτή προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα τα οποία υπερβαίνουν τον αμιγώς φυσικό κόσμο. Η 5^η Συμφωνία του Μπετόβεν, για παράδειγμα, θεωρείται οντότητα; Η θεωρία των ορίων μας οδηγεί στο να απαντήσουμε θετικά. Ο λόγος είναι ότι έχει όριο. Πεπερασμένος είναι ο αριθμός των ανθρώπων που την έχουν ακούσει, των παρτιτούρων που έχουν εκδοθεί, των φορών που έχει επιτελεστεί και των δισκογραφικών της αποπειρών. Αντίστοιχα, όσο τεράστιος και να είναι, παραμένει πεπερασμένος ο αριθμός των έργων τα οποία έχει επηρεάσει, ή το πώς λειτουργεί ακόμα και σαν σύμβολο. Επειδή είναι αμιγώς οντοφορική οντότητα, το όριο της υποδηλώνει την πεπερασμένη δυνατότητάς να παράγει δράσεις (να δημιουργεί πεδία). Είναι σχεδόν δεδομένο, ότι από όταν άρχισε το φαινόμενο της μουσικής, στην ανάλογη κλίμακα της εποχής βεβαίως, θα υπήρχαν αντίστοιχα δημοφιλείς μουσικές οντότητες, που πλέον είναι παντελώς άγνωστες, και ακόμα και αν βρεθεί κάποια αρχαιολογική ένδειξη της ύπαρξής τους (π.χ. μια αναφορά σε ένα αρχαίο κείμενο), δεν μπορούν να προκαλέσουν δράσεις (με τον τρόπο τουλάχιστον που προκαλούσαν). Με την ίδια ακριβώς λογική, ως (οντοφορικές) οντότητες πρέπει να θεωρηθούν και ο Μινώταυρος ή η απαγορευτική αρχή του Pauli.

Ενώ λοιπόν η 5^η συμφωνία του Μπετόβεν ή η δευτεροβάθμια εξίσωση είναι οντότητες, ποια η οντολογική τοποθέτηση της μουσικής και των μαθηματικών εν γένει; Η απάντηση θα δοθεί μέσω της αναζήτησης των ορίων τους. η μουσική είναι ένα υπερπλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσονται όλα τα μουσικά έργα που έχουν γραφτεί, οι αισθητικές, ψυχολογικές, μεθοδολογικές, κοινωνικές προεκτάσεις της μουσικής. Περιλαμβάνει μάλιστα ό,τι έχει εκληφθεί ως μουσική μέχρι τώρα αλλά και ότι θα αφορά το μέλλον. Πρόκειται για έννοια λοιπόν και όχι οντότητα. Τα όρια της δεν υπάρχουν (επειδή δεν υπάρχουν όντως και όχι επειδή δεν μπορούν να εντοπιστούν). Αντίστοιχα, ο τυφώνας Κατρίνα, ο οποίος έπληξε τον Ατλαντικό και ειδικά τις ΗΠΑ, το 2005, είναι οντότητα. Έχει όνομα, έπληξε συγκεκριμένες περιοχές, οι αναφορές στον τύπο ήταν πεπερασμένες, μελετήθηκε από την επιστημονική κοινότητα. Με άλλα λόγια, είχε συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες τον έκαναν αναγνωρίσιμο σαν ιστορικό μετεωρολογικό συμβάν. Είχε συγκεκριμένη διάρκεια, τρόπο εξέλιξης, περιοχή στην οποία έδρασε, ενέργεια, ηλεκτρικά φαινόμενα κ.λπ. Με άλλα λόγια, είχε όρια. Αντίθετα, ο τυφώνας εν γένει, είναι μετεωρολογικό φαινόμενο. Μπορεί να διακριθεί ως έννοια σε σχέση με τα υπόλοιπα φαινόμενα, όπως αντίστοιχα μπορεί να διαφοροποιηθεί το μήλο από το πορτοκάλι, ο ήλιος από το φεγγάρι, ο σκύλος από τη γάτα. Όλα αυτά είναι διακρίσεις ειδών / φαινομένων / εννοιών. Όχι οντοτήτων. Το οντολογικό κριτήριο των ορίων δεν επαληθεύεται.

Πρέπει να επισημανθεί ότι το όριο κάθε οντότητας δεν είναι υποχρεωτικά συνεκτικό και εντοπισμένο σε ένα συνεχές τμήμα του χώρου. Το όριο μιας πέτρας για παράδειγμα είναι τοπολογικά ενιαίο. Υπάρχουν παράδειγμα οντοτήτων όμως, στα οποία δεν ισχύει το ίδιο. Αντίθετα, το όριό τους είναι κατανεμημένο. Πρόκειται για τις περιπτώσεις των οντοτήτων οι οποίες αποτελούνται από επί μέρους οντότητες, δηλαδή είναι και οι ίδιες αυτόνομες οντότητες, και – κατά κανόνα – είναι ταυτόχρονα και τμήμα άλλων οντοτήτων. Για παράδειγμα, μία αθλητική ομάδα αποτελείται από τους αθλητές, τους προπονητές, τη διοίκηση, τους οπαδούς, τα γραφεία, το γήπεδο και πάει λέγοντας. Προκύπτει λοιπόν ότι κάθε οντότητα δύναται να είναι τμήμα μιας ευρύτερης οντότητας, κατά κανόνα πολυπλοκότερης, ως τμήμα ενός δικτύου.

1.4.4 Οντότητες εντός, εκτός και επί του κώνου του φωτός και οι σχέσεις τους με τον χώρο και τον χρόνο

Ανάλογα με τον τύπο τους και την υπόσταση των ορίων τους, οι οντότητες αποκτούν διαφορετικές ιδιότητες και τρόπο με τον οποίο (αλληλεπι)δρούν. Υπόκεινται μάλιστα σε διαφορετικούς φυσικούς νόμους. Με βάση των κώνου του φωτός, τον οποίον περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, οι οντότητες με υλικό όριο ανήκουν στο time-like (χρονοειδές) πεδίο (domain), με ενεργειακό στο light-like (φωτοειδές) και με οντοφορικό στο space-like (χωροειδές).³³

Οι υλικές οντότητες λοιπόν καταλαμβάνουν μία συγκεκριμένη θέση στον χώρο, με αποκλειστικότητα μάλιστα. Μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια την θέση ενός τραπεζιού σε ένα δωμάτιο ή ενός πλανήτη σε ένα ηλιακό σύστημα. Και οποιοδήποτε άλλο έπιπλο θα είναι δίπλα, πάνω, κάτω ή μακριά από το τραπέζι. Σε κάθε περίπτωση, θα έχει άλλη θέση στο δωμάτιο. Αντίστοιχα, για κάθε άλλο πλανήτη, ή δορυφόρο. Και εφόσον υπάρχουν εδραιωμένα στο χώρο τότε είναι ικανά να παράξουν γεγονότα, ενώ παράλληλα η αρχή, η μέση και το τέλος της ζωής τους μπορεί να προσδιορισθεί χρονικά, με συνεχή μάλιστα τρόπο, σαν μία αδιάκοπη εξέλιξη. Οι υλικές οντότητες δε χρειάζονται περειαίρω αναφορά, γιατί μας είναι εξαιρετικά οικείες.

Οι ενεργειακές οντότητες, όπως ισχύει για τα light-like φαινόμενα, μπορούν να μοιράζονται ταυτόχρονα το ίδιο μέρος του χώρου.³⁴ Οι οντότητες αυτές, όπως και οι υλικές, έχουν χωρική και χρονική υπόσταση, εντοπίζονται με άλλα λόγια στον χωροχρόνο, ως εκ τούτου, είναι και αυτές τμήμα «γεγονότων».

Στο σημείο αυτό, αξίζει να θυμηθούμε, ότι ο Minkowski αποκαλούσε τα σημεία του χωροχρόνου ως «γεγονότα», για να εκφράσει την ιδιότητα των σημείων αυτών να υπόκεινται σε (αλληλοεπι)δράσεις με χωροχρονική υπόσταση. Συνέβαλε στη γεωμετρική διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, μέσω γραφικών αναπαραστάσεων, από τις οποίες προέκυψε και ο κώνος του φωτός. Έτσι, στον τρισδιάστατο χώρο (x,y,z) προστέθηκε η τέταρτη διάσταση, αυτή του χρόνου (ο χρονικός άξονας βαθμονομήθηκε με τιμές ict, όπου i η φανταστική μονάδα, c η ταχύτητα του φωτός και t ο χρόνος). Ενώ λοιπόν στην ευκλείδεια γεωμετρία, για τον κοινό τρισδιάστατο χώρο δηλαδή, προκύπτει από το πυθαγόρειο θεώρημα ότι η απόσταση δίνεται από τον τύπο $s^2 = x^2 + y^2 + z^2$, στον τετραδιάστατο χώρο δίνεται από τον τύπο $s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$ (το πλην δικαιολογείται αφού $i^2 = -1$). Αυτός είναι ο τύπος ο οποίος δίνει την απόσταση δύο σημείων – γεγονότων. [100]

Η τρισδιάστατη απεικόνιση του τετραδιάστατου χώρου Minkowski (παραλείπεται η z διάσταση του χώρου) επιτρέπει την οπτική αναπαράσταση του κώνου του φωτός, στην οποία έχουμε αναφερθεί. Επειδή για λόγους οπτικής και υπολογιστικής διευκόλυνσης παίρνουμε ότι $c = 1$, τότε προκύπτει ότι ο κώνος αυτός έχει κλίση 45° ($\tan 45^\circ = 1$). Τα σημεία εσωτερικά της κωνικής τομής λοιπόν θα απεικονίζουν γεγονότα τα οποία

³³ Υπενθυμίζουμε ότι για τις οντότητες με υλικό όριο, στο όριό τους συνυπάρχει η ενεργειακή και οντοφορική υπόσταση, με ενεργειακό όριο συνυπάρχει και η οντοφορική υπόσταση ενώ υπάρχουν και οι αμιγώς οντοφορικές.

³⁴ Τουλάχιστον, για όσες δεν υπόκεινται στην απαγορευτική αρχή του Pauli.

ταξιδεύουν με ταχύτητες μικρότερες του φωτός (οι time-like, υλικές οντότητες, στην περίπτωση μας), ενώ τα σημεία πάνω στην κωνική τομή απεικονίζουν τα γεγονότα τα οποία ταξιδεύουν με ταχύτητα ίση (ή κοντινή) με την ταχύτητα του φωτός (οι light-like, ενεργειακές οντότητες).

Αφού όμως δεν μπορούν να ταξιδέψουν γεγονότα με ταχύτητες μεγαλύτερης αυτής του φωτός, τότε τι συμβαίνει με τις οντοφορικές οντότητες, για τις οποίες είπαμε ότι ανήκουν στο space-like πεδίο; Στο σημείο αυτό, επαναδιατυπώνουμε έναν άτυπο ορισμό, σύμφωνα με τον οποίο η οντοφορία γεννάει πεδία, μέσω των οποίων συμβαίνουν οι δράσεις. Η ύπαρξη ενός πεδίου είναι προϋπόθεση για την «εν δυνάμει» εκδήλωση γεγονότων. Το «εν δυνάμει» υποδηλώνει ότι η ύπαρξη ενός πεδίου δε συνοδεύεται υποχρεωτικά με τη δημιουργία ενός γεγονότος. Ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο από μόνο του θα παράξει φαινόμενα μόνο εφόσον μπει σε αυτό ένα ηλεκτρομαγνητικό υλικό. Στην κβαντική θεωρία πεδίου, η ύπαρξη των κβαντικών πεδίων υπό προϋποθέσεις μόνο γεννά ενεργειακά και υλικά επιφαινόμενα. Με αντίστοιχο τρόπο λοιπόν και οι οντοφορικές οντότητες είναι αυτές οι οποίες δημιουργούν τη δυνατότητα της γέννησης γεγονότων / συμβάντων και δεν συνεπάγονται την ντε φάκτο ύπαρξή τους. Ο νόμος ο οποίος ορίζει τις κυρώσεις για μία κλοπή έχει νόημα μόνο σε περίπτωση κλοπής. Μόνο τότε θα σημάνει πράγματα (συμβάντα / γεγονότα), όπως τη σύλληψη του δράστη, την απολογία του, την έλευση του δικηγόρου του, και ενδεχομένως τη φυλάκισή του.

Έτσι λοιπόν, τα σημεία του χωροχρόνου οργανώνονται λόγω της οντοφορίας, μέσω της οποίας προκύπτουν τα γεγονότα. Η οντοφορία λοιπόν είναι άχρονη, αλλά αφού διαμορφώνει τον τρόπο δημιουργίας γεγονότων, ορίζει χρονικούς δείκτες. Με άλλα λόγια, η οντοφορία γεννάει τον χρόνο. Ο χρόνος άλλωστε είναι μία μετρική. Είναι η (χρονική) απόσταση μεταξύ δύο συμβάντων. Στα περιοδικά φαινόμενα μάλιστα οι (χρονικές) αποστάσεις είναι ίσες (διαδοχικοί χτύποι της καρδιάς, πανσέληνοι, περιφορά της γης γύρω από τον ήλιο). Η οντοφορία λοιπόν, ως το πεδίο το οποίο ορίζει συμβάντα, ορίζει και τον τρόπο διαδοχής τους. Στο παραπάνω παράδειγμα με τον νόμο περί κλοπής, πρώτα γίνεται η κλοπή, μετά συλλαμβάνεται ο δράστης, έπειτα καλείται ο δικηγόρος, στη συνέχεια γίνεται η δίκη και στο τέλος έχουμε την εκτέλεση της ποινής. Η οντοφορία είναι αυτή που γεννά τους δείκτες (indexes) του τρόπου αλληλουχίας των επιμέρους συμβάντων. Δε γίνεται, για παράδειγμα, πρώτα να είχαμε την εκδίκαση της υπόθεσης, μετά την τέλεση του αδικήματος, έπειτα την εκτέλεση της ποινής και στο τέλος τη σύλληψη. Η αλληλουχία λοιπόν συμβάντων προσδίδει την έννοια της διάρκειας μέσω της οποίας γεννιέται ο χρόνος. Αν δεν υπάρχουν φαινόμενα / συμβάντα / γεγονότα, τότε δεν υπάρχει χρόνος. Ο χρόνος είναι παράγωγο του ξεδιπλώματός τους (unfolding)³⁵.

Η κατάταξη των οντοφορικών οντοτήτων στο space-like πεδίο είναι κατά μία έννοια καταχρηστική. Η επιλογή αυτή έγινε για να κατασταθεί σαφές ότι η ύπαρξη οντοτήτων με αμιγώς οντοφορικό όριο είναι άχρονες και δε συνεπάγονται την ύπαρξη συμβάντων. Κάτι το οποίο είναι ανάλογο με όσα συμβαίνουν στο space-like πεδίο – ή, για να είμαστε πιο ακριβείς, με όσα δε συμβαίνουν, αφού δεν νοούνται γεγονότα τα οποία να ταξιδεύουν με ταχύτητες μεγαλύτερης του φωτός. Επίσης, οι οντοφορικές οντότητες για να δράσουν

³⁵ Αναφορικά με τον χρόνο, ο Einstein είχε αναφέρει μετά το θάνατο του καλού του φίλου, Besso: «Άτομα σαν και εμάς, τα οποίοι πιστεύουμε στη φυσική, γνωρίζουμε ότι, αν και πειστική, η διάκριση μεταξύ παρελθόντος, παρόντος και μέλλοντος είναι μόνο μία πεισματάρικη, επίμονη ψευδαίσθηση». [256]

χρησιμοποιούν τα πιο κάτω τους επίπεδα (ενεργειακό και υλικό επίπεδο). Επομένως, από μόνες τους, χωρίς την αξιολόγηση των χαμηλότερων επιπέδων, δεν μπορούν να δράσουν, άρα δεν υπάρχει κάποια αιτιώδης συνάφεια να τα συνδέει. Η απουσία αιτιώδους συνάφειας είναι αυτή που χαρακτηρίζει εξ ορισμού το space-like πεδίο. Όμως, και η οντοφορία κάθε οντότητας, ανεξάρτητα από την (αλληλοεπι)δράση της δηλαδή, δημιουργεί σχέσεις στις οποίες δεν υπάρχει αιτιότητα. Στην οντοφορία η έννοια χρόνος είναι παράγωγο μέγεθος που καθορίζεται από τις μεταβολές των ιδιοτήτων του χώρου. Αυτό σημαίνει πως κάτι μπορεί να καθορίζει το «παρελθόν» του, οπότε δεν ισχύει η αρχή της αιτιότητας όπως την ορίζουμε σήμερα. Δεδομένου ότι όλες οι οντότητες έχουν και οντοφορικό όριο έχουν και μη αιτιώδεις συνιστώσες οι οποίες δεν είναι άμεσα αντιληπτές. Στον μικρόκοσμο όμως εκδηλώνονται και αν δεν ληφθούν υπ' όψη δημιουργούν διάφορα παράδοξα³⁶.

1.4.5 Οι οντότητες αλληλοεπιδρούν μέσω των ορίων τους

Οι ζωντανοί οργανισμοί στηρίζουν την ύπαρξή τους στη δυνατότητά τους να επικοινωνούν, να ανταλλάσσουν μηνύματα. Ένα μωρό όταν πεινάει κλαίει, το κλάμα είναι το μήνυμα προς τη μητέρα για να το ταΐσει. Αντίστοιχα, ένας σκύλος σε κίνδυνο γρυλίζει για να μεταδώσει ένα απειλητικό μήνυμα. Η μετάδοση μηνυμάτων είναι μία διαδικασία ανταλλαγής πληροφορίας. Μέσω της ανταλλαγής αυτής γεννιούνται δράσεις. Για παράδειγμα, αν ένα δελτίο καιρού ενημερώσει ότι θα βρέξει, ο αποδέκτης του μηνύματος, πιθανότατα, θα προμηθευτεί μία ομπρέλα. Αντίστοιχα, όταν ανάψει κόκκινο φανάρι, ο οδηγός θα σταματήσει το όχημα. Όταν η ανταλλαγή μηνυμάτων δεν προϋποθέτει τον αμοιβαίο τρόπο αποκωδικοποίησης του μηνύματος από τον παραλήπτη και τον δέκτη, τότε πρόκειται για αλληλεπίδραση. Όταν ο σιδηρουργός χτυπάει με το σίδερο το πυρακτωμένο μέταλλο δεν επικοινωνεί μαζί του, αλλά αλληλοεπιδρά. Αντίστοιχα, όταν συγκρούονται δύο σωματίδια, ή όταν ένας κομήτης μπει στο βαρυτικό πεδίο ενός πλανήτη, τότε έχουμε παραδείγματα αλληλεπίδρασης.

Για να γίνει εφικτή μία αλληλεπίδραση, κατά κανόνα, προϋπόθεση είναι η εγγύτητα. Επειδή κριτήριο ύπαρξης των οντοτήτων είναι το να έχουν όρια, προϋπόθεση για την αλληλεπίδρασή τους είναι η αλληλεπίδραση των ορίων τους. Πρέπει τα όριά τους να έρθουν κοντά ώστε να γίνει εφικτή η αλληλεπίδραση. Το υλικό όριο του σφυριού του σιδηρουργού πρέπει να βρει αυτό του πυρακτωμένου μετάλλου, ενώ το ενεργειακό όριο του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μίας κεραίας εκπομπής, η εμβέλειά της δηλαδή, πρέπει να είναι κοντά με το αντίστοιχο όριο της κεραίας λήψης. Όταν οι οντότητες αλληλοεπιδρούν, τότε αλληλοεπιδρούν τα όριά τους. Μόνο έτσι αποκτά νόημα η αλληλεπίδραση. Με άλλα λόγια, οι οντότητες αλληλοεπιδρούν μέσω των ορίων τους.

Στην περίπτωση των τηλεπικοινωνιών, ή των ραδιοηλεκτρονικών μεταδόσεων, για να έχουμε δυνατότητα λήψης θα πρέπει τα οντοφορικά όρια της κεραίας εκπομπής και εκείνα της λήψης να αλληλοεπιδράσουν. Για να συμβεί αυτό η κεραία του δέκτη θα πρέπει να βρίσκεται εντός του ενεργειακού ορίου της κεραίας του πομπού

³⁶ Ένα από αυτά είναι το φαινόμενο Aharonov-Bohm ([257]), με βάση το οποίο ένα ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο δείχνει μια μετρήσιμη αλληλεπίδραση με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο παρά το γεγονός ότι αυτό περιορίζεται σε μια περιοχή στην οποία τόσο το μαγνητικό πεδίο όσο και το ηλεκτρικό πεδίο είναι μηδέν.

(αλληλεπίδραση ενεργειακών ορίων). Όταν συμβεί αυτό τότε πάνω στην κεραία λήψης αναπτύσσονται ηλεκτρικές τάσεις ανάλογες με αυτές της κεραίας εκπομπής (αλληλεπίδραση υλικών ορίων) οι οποίες οδηγούνται στην συσκευή αποκωδικοποίησης (π.χ. τηλεόραση κινητό τηλέφωνο κ.λπ.). Το ενεργειακό όριο του κύματος προκύπτει από την ισχύ εκπομπής (όσο μεγαλύτερη η ισχύς τόσο δυνατότερο το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, άρα και μεγαλύτερο το ενεργειακό όριο). Το οντοφορικό όριο του κύματος, έχει να κάνει με τον προσανατολισμό της κεραίας. Οι κεραίες άλλωστε τοποθετούνται με τρόπο ώστε οι λοβοί του κύματος να είναι στραμμένοι προς όσο το δυνατόν περισσότερους αποδέκτες. Ο αριθμός των αποδεκτών είναι ανάλογος των εν δυνάμει δράσεων που μπορεί να αναπτυχθούν (οντοφορική διαδικασία). Πολύ διαφορετική οντοφορική αλληλεπίδραση θα αναπτυχθεί αν η κεραία εκπομπής του CNN εκπέμπει στη Νέα Υόρκη, απ' ότι στην Αλάσκα.

Πρέπει λοιπόν να διερευνηθεί με βάση αυτά ο τρόπος αλληλεπίδρασης των οντοτήτων. Όταν μία οντότητα αλληλοεπιδρά τότε αλληλοεπιδρούν όλες οι υποστάσεις του ορίου της. Μία υλική οντότητα αλληλοεπιδρά τόσο υλικά, όσο και ενεργειακά και οντοφορικά (υλική οντότητα = οντότητα τύπου 3). Μια ενεργειακή, ενεργειακά και οντοφορικά (ενεργειακή οντότητα = οντότητα τύπου 2), ενώ μία οντοφορική μόνο οντοφορικά (οντοφορική οντότητα = οντότητα τύπου 1). Έτσι λοιπόν, όταν αλληλοεπιδρούν δύο υλικές οντότητες έχουμε 9 (3 x 3) τρόπους αλληλεπίδρασης (δρόμους επικοινωνίας), ενώ όταν αλληλοεπιδρά μία υλική με μία ενεργειακή 6 (3 x 2). Στο κλασικό επικοινωνιακό σύστημα το οποίο αποτελείται από πομπό, μέσο και δέκτη έχουμε 27 τρόπους αλληλεπίδρασης (3 x 3 x 3). Η συμβατική μηχανική από αυτούς τους 27 συνδυασμούς αλληλεπίδρασης μελετά ως επί το πλείστον μόνο δύο (τους 3 – 3 – 3 και τους 3 – 2 – 3, αν θεωρήσουμε το μέσο ως ενεργειακή οντότητα).

Όταν δύο οντότητες αλληλοεπιδρούν, η αλληλεπίδραση διαπιστώνεται, αλλά και πραγματώνεται, μέσω της αλλαγής των ορίων τους. Αν τα όρια μείνουν αμετάβλητα τότε δεν υπάρχει αλληλεπίδραση. Όταν για παράδειγμα κλωσήσουμε μία μπάλα, τότε στο σημείο επαφής η μπάλα «βαθουλώνεται» (αλλαγή υλικού ορίου), αναπτύσσεται θερμότητα και η μπάλα αποκτά κινητική ενέργεια (αλλαγή ενεργειακού ορίου) και τέλος, με την νέα της κινητική κατάσταση η μπάλα δύναται να δημιουργήσει γεγονότα, π.χ. θα αναγκάσει τον τερματοφύλακα να κινηθεί για να την αποκρούσει, (αλλαγή οντοφορικού ορίου).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η δράση των ορίων λεπτότερης υφής απαιτεί τη δράση των αμέσως πυκνότερών τους. Η σειρά αναφορικά με τη λεπτότητα της υφής είναι οντοφορία, ενέργεια, ύλη, αφού, όπως έχουμε αναφέρει, μικρή ποσότητα ύλης αντιστοιχίζεται σε μεγάλη ποσότητα ενέργειας, και μικρή ποσότητα ενέργειας σε μεγάλη ποσότητα οντοφορίας. Έτσι η δράση των οντοφορικών ορίων γίνεται μέσω των ενεργειακών (ή και υλικών αν υπάρχουν) ορίων. Επίσης τα ενεργειακά όρια δρουν μέσω των υλικών ορίων.³⁷ Θεωρητικά ο κύκλος κλείνει με την ενεργοποίηση των οντοφορικών

³⁷ «Ο προτεινόμενος ορισμός της πληροφορίας (σημ. αναφέρεται στο «information is a difference that (can) make a difference» του Bateson) μπορεί να αποκτήσει νόημα αν εξετάσουμε το τι είναι αυτό το οποίο διαδίδεται μέσα σε ένα δίκτυο από συνδεδεμένους, με αιτιώδη συνάφεια, μηχανισμούς. Προφανώς, σε κάποιες περιπτώσεις αυτό που διαδίδεται είναι η ενέργεια. Σε άλλες περιπτώσεις, για παράδειγμα σε ένα χημικό φυτό, ή στο κυκλοφορικό σύστημα ενός ζώου ή ενός φυτού, η ύλη είναι αυτή που διαδίδεται (η

ορίων από τα υλικά, αν και πρακτικά αυτό είναι τόσο σπάνιο όσο και η παραγωγή ύλης από ενέργεια.

Για παράδειγμα, ένα μουσικό έργο, το οποίο είναι οντοφορική οντότητα, για να αλληλοεπιδράσει πρέπει να παιχτεί, ώστε να γίνει ακουστό (ηχητική ενέργεια), και να μπορέσει να επηρεάσει, συναισθηματικά ή με οποιοδήποτε άλλο τρόπο. Αντίστοιχα, για να μπορέσουν να δείξουν οι τηλεοπτικοί μας δέκτες ένα πρόγραμμα πρέπει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα να αλληλοεπιδράσει με την κεραία και να αξιοποιήσει το υλικό της όριο. Η δράση των ορίων λεπτότερης υφής μέσω των πυκνότερών τους, δεν αφορά μόνο την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων, αλλά και τη δράση κάθε οντότητας ξεχωριστά. Για παράδειγμα, το οντοφορικό όριο του ανθρώπου είναι αυτό το οποίο τον κινεί να προβαίνει σε δράσεις. Οι σκέψεις του ενεργοποιούνται μέσω των ηλεκτρικών εκκενώσεων στα patterns των νευρωνικών δικτύων του εγκεφάλου, το μήνυμα στέλνεται μέσω κάποιων βιολογικών καναλιών στους μυς, οι οποίοι αξιοποιούν την αποθηκευμένη χημική ενέργεια του σώματος και εν τέλει το σώμα κινείται. Το οντοφορικό όριο, το οποίο κωδικοποιείται μέσω της έννοιας «σκέψη», ενεργοποιείται μέσω του ενεργειακού ορίου των ηλεκτρικών σημάτων στο νευρωνικό δίκτυο, ενεργοποιεί τους μυς μέσω της χημικής ενέργειας, η οποία έχει προκύψει από τον μεταβολισμό της τροφής, και εν τέλει, τα παραπάνω ενεργειακά όριο εκδηλώνονται μέσω της κίνησης του υλικού ορίου του σώματος.

Ας εξετάσουμε ένα ακόμα παράδειγμα. Η κατασκευή του ιστού της αράχνης είναι οντοφορικής προέλευσης. Το ακριβές pattern της ύφανσης, το που εντοπίζονται τα πυκνώματα και αραιώματά του, και το σημείο το οποίο επιλέγεται να τοποθετηθεί, συνειδητά από την αράχνη ή όχι, σίγουρα δεν προκύπτουν αυθαίρετα. (Παρεμφερής οντοφορική προσέγγιση είναι και η επιλογή του τύπου κεραίας που θα τοποθετηθεί στην τaráτσα του σπιτιού μας και ο προσανατολισμός της.) Είναι μιας πληροφοριακή (οντοφορική) διαδικασία η οποία αντιγράφεται, μέσω κάποιας μορφής μιμητισμού ή βιολογικού προγραμματισμού. Η «μορφή» του ιστού εκδηλώνεται μέσω του ενεργειακού της ορίου, το οποίο τον καθιστά ικανό να ακινητοποιεί ένα έντομο – θήραμα με δεδομένη κινητική και δυναμική ενέργεια. Το ενεργειακό όριο του ιστού καθορίζει το ποια θηράματα δύναται να εγκλωβίσει και ποια όχι. Ένας ιστός μπορεί να πιάσει μία μύγα αλλά όχι έναν ελέφαντα. Τέλος, αυτό το ενεργειακό όριο διαμορφώνεται μέσω του υλικού, όπως αποτυπώνεται στις ίνες, στις «κλωστές» του ιστού.

Αναφερθήκαμε σε προηγούμενη παράγραφο στο παράδειγμα της οντοφορικής δράσης των μουσικών οντοτήτων μέσω των ενεργειακών ορίων. Έχουμε αναφέρει επίσης ότι η οντοφορία είναι άχρονη, αλλά παρέχει τους δείκτες μέσω των οποίων οργανώνονται συμβάντα. Στο ίδιο παράδειγμα, εν προκειμένω, η άχρονη οντοφορία (η οποία ενδεχομένως να είναι αποθηκευμένη εν μνήμη στις οδηγίες μίας παρτιτούρας), εκδηλώνεται (π.χ. σε μία συναυλία, ή στα ηχεία ενός ηχοσυστήματος) μέσω της εκτέλεσης των οδηγιών που παρέχονται και ξεδιπλώνονται έτσι τα ηχητικά συμβάντα.

οποία συμπεριλαμβάνει τόσο τα θρεπτικά στοιχεία όσο και τα απόβλητα). Αλλά η έννοια της πληροφορίας, για εμάς, είναι διακριτή από αυτές της ύλης και της ενέργειας, παρόλο που η πληροφορία, η ύλη και η ενέργεια μπορούν να αλληλοεπιδράσουν, για παράδειγμα όταν λαμβάνεται η πληροφορία για την εκκίνηση μεγάλων μηχανών ή άλλων φυσικών συστημάτων. Για να κινηθεί η ύλη χρειάζεται να σπαταληθεί ενέργεια. Όλα αυτά όμως πυροδοτούνται από την πληροφορία.» [89]

Τότε πλέον μιλάμε για οντοφορία σε μεταβατικό στάδιο (εν κινήσει). Ως αποτέλεσμα, προκύπτει μία πληροφοριακή ροή. Η πληροφορία αυτή είναι ενεργειακού χαρακτήρα και είναι αυτή στην οποία αναφέρεται ο Shannon.

1.4.6 Οντοφορία και έλεγχος

Στην παραπάνω ενότητα περιγράψαμε ότι η αλληλεπίδραση των οντοτήτων συμβαίνει μέσω αυτής των ορίων τους. Επίσης, τα όρια λεπτότερης υφής για να δράσουν αξιοποιούν τα πυκνότερα. Όταν λοιπόν δρα η οντοφορία, τότε αυτή αξιοποιεί την ενέργεια, ή και την ύλη. Τότε, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η ενέργεια και η ύλη γίνονται τα φέροντα σήματα της οντοφορίας (ITformational carriers). Όταν λοιπόν ανταλλάσσεται οντοφορία, τότε πρακτικά ανταλλάσσονται και οι οδηγίες τις οποίες φέρει η οντοφορία αυτή. Με άλλα λόγια, προκύπτουν νέα δεδομένα για την εν δυνάμει δράση για τις οντότητες που αλληλοεπιδρούν (ή για αυτές που γεννιούνται). Η οντοφορία προκαλεί οργανώσεις του χώρου (του όποιου χώρου, όχι μόνο του γεωμετρικού), μέσω της οργάνωσης αυτής δημιουργούνται πεδία, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα στα φαινόμενα να αναπτυχθούν. Επομένως, η ανταλλαγή οντοφορίας, γεννά νέες οργανώσεις, οι οποίες, με τη σειρά τους, θέτουν νέους όρους στην παραγωγή εν δυνάμει φαινομένων. Ως εκ τούτου, η οντοφορία μπορεί να θεωρηθεί ως σήμα ελέγχου.³⁸

Με βάση τον διάσημο ορισμό του Bateson (Information is a difference that (can) make a difference) [58], τον οποίο έχουμε συσχετίσει με την οντοφορία, η αλλαγή οντοφορίας, θα δημιουργήσει μία νέα κατάσταση, μία νέα διαφορά η οποία δύναται να δημιουργήσει, με τη σειρά της, μία νέα διαφορά. Η οντοφορική αλλαγή μπορεί να παραλληλιστεί με τις οδηγίες (συνταγές) από ένα εγχειρίδιο. Όταν κληθούν να μαγειρέψουν από κοινού ένας Ινδός με έναν Γάλλο σεφ, τα οντοφορικά τους όρια θα αλληλοεπιδράσουν, και θα προκύψει ένα φαγητό το οποίο (μάλλον) θα έχει υβριδικό χαρακτήρα, με στοιχεία τόσο από την ινδική όσο και τη γαλλική κουζίνα. Η οντοφορία, ως σήμα ελέγχου, θα επιβάλλει τον τρόπο με τον οποίο θα διαταχθούν και θα επεξεργαστούν τα συστατικά τα φαγητού. Αντίστοιχα, όταν ένα πλήθος τοποθετηθεί μπροστά από έναν σβηστό προβολέα και κάποια στιγμή αυτός ανοίξει, τότε, ενστικτωδώς, τα άτομα του πλήθους θα κλείσουν τα μάτια τους. Το οντοφορικό όριο του προβολέα, αλληλοεπίδρασε με αυτό του πλήθους, και επέβαλε νέες δράσεις. Το ένστικτο άλλωστε είναι κεντρικής σημασίας οντοφορική διαδικασία, γιατί επιταχύνει δράσεις, κατά κανόνα αυτοσυντηρητικές.

Η πληροφοριακή επικοινωνία, κατά τον Kupperts, στα βιολογικά συστήματα είναι «κατά το μάλλον ή ήττον, μια αμοιβαία εναρμόνιση και συγχρονισμός διαδικασιών» και δεν προϋποθέτει τον αμοιβαίο τρόπο κατανόησης ενός νοήματος». [101] Αυτή η προσέγγιση, μπορεί να γενικευτεί σε κάθε μορφής πληθυσμό, από τα κύτταρα και τους ζωντανούς οργανισμούς εν γένει, στη γλώσσα και στη μουσική (ως πληθυσμός λέξεων και ηχημάτων), καθώς και μόρια και στους γαλαξίες. Κάθε πληθυσμός εντάσσεται σε ένα

³⁸ Ο όρος «έλεγχος» εννοείται όπως στον κλάδο της μελέτης συστημάτων (π.χ. «Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου») και όχι με την έννοια της επιτήρησης και τιμωρίας. Τα σήματα ελέγχου είναι αυτά τα οποία καθορίζουν τη δράση ενός συστήματος και την ενδεχόμενη ευστάθειά του.

περιβάλλον³⁹, αποτελώντας τμήμα ενός πολύπλοκου δικτύου αλληλεπίδρασης. Η αλληλεπίδραση γεννά νέους όρους στη (συν)ύπαρξη των τμημάτων του δικτύου αυτού. Πρέπει να γίνει κατανοητό, ότι ο τρόπος οργάνωσης των πληθυσμών, δεν είναι ποτέ προϊόν παρθενογένεσης, αλλά μίας εξελικτικής διαδικασίας, κοινή στη φύση με τη θεωρία του Δαρβίνου. Η θεωρία αυτή ονομάζεται «οικουμενικός Δαρβινισμός». [102], [103] Η μορφή η οποία έχουν οι οντότητες, ο τρόπος οργάνωσής τους και η κατάσταση των συστημάτων είναι αποτέλεσμα των νέων συνθηκών οι οποίες έχουν προκύψει από την επικοινωνία τους. Η επικοινωνία λοιπόν επιβάλλει την αλλαγή των χαρακτηριστικών των οντοτήτων για να προσαρμοστούν στα (συνεχώς αναπροσαρμοσμένα) περιβάλλοντα στα οποία εντάσσονται. Η αλλαγή χαρακτηριστικών, στη θεωρία την οποία παρουσιάζουμε, προκύπτει από τις νέες οργανώσεις (του κάθε χώρου), είναι επομένως αποτέλεσμα της ύπαρξης νέων πεδίων. Η δημιουργία των νέων πεδίων είναι αυτή η οποία καθιστά την οντοφορία σήμα ελέγχου.

Ο έλεγχος ο οποίος ασκεί η οντοφορική επικοινωνία μπορεί να παρατηρηθεί σε μία σειρά από παραδείγματα. Όταν σε ένα πάρτι ο DJ παίζει ροκ τότε θα έχουμε μονήρεις χορούς, όταν παίζει ταγκό σε ζευγάρια, και όταν παίζει καλαματιανό σε κυκλικούς χορούς. Το οντοφορικό όριο των μουσικών οντοτήτων που θα ακουστούν θα επιβάλλει νέες οργανώσεις του πληθυσμού (εν προκειμένω των ανθρώπων που παρευρίσκονται στο πάρτι). Αντίστοιχα, η ακτινοβολία στη θεραπεία ενός καρκινοπαθούς, θα επηρεάσει μόνο ορισμένα κύτταρα ενώ θα αφήσει ανέπαφα άλλα. Θα διαμορφώσει λοιπόν, μέσω της αλληλεπίδρασης, νέες κυτταρικές οργανώσεις, με αντίστοιχο μηχανισμό με τον οποίο η μουσική στο πάρτι διαμόρφωσε νέους τρόπους οργάνωσης των ανθρώπων στο χώρο. Στις περιπτώσεις στις οποίες οι αλληλεπιδράσεις αυτές έχουν μεγάλη διάρκεια, απευθύνονται σε πολλά μέλη του πληθυσμού και παράγουν σημαντικές δράσεις τότε διαμορφώνονται όροι για «μεταλλάξεις», για εξελικτικές αλλαγές στη δομή των πληθυσμών, μέσω των οποίων μπορούμε να διακρίνουμε την εξέλιξη (μετάβαση) από το ένα είδος στο άλλο.

Επομένως, η ανάγκη για προσαρμοστικότητα στα μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα επιβάλλει στους πληθυσμούς να αποκτούν νέα χαρακτηριστικά / ιδιότητες. Αυτή η επιβολή προκύπτει μέσω της αλληλεπίδρασης των οντοφορικών ορίων. Η οντοφορία της οντότητας «δάσος με ψηλά δέντρα» επέβαλε το χαρακτηριστικό του ψηλού λαιμού της καμηλοπάρδαλης, για να μπορεί να εξασφαλίσει τη διατροφή της. Το χαρακτηριστικό αυτό κληρονομείται μέσω της κωδικοποίησής του, στο «βιολογικό εγχειρίδιο», το γονιδίωμα. Το πόσο θα ψηλώσει ο λαιμός της καμηλοπάρδαλης και το τι χαρακτηριστικά θα πάρει, το επέβαλε η οντοφορία, ως σήμα ελέγχου. Όπως αντίστοιχα επέβαλε την εκ νέου οργάνωση των κυττάρων μετά την θεραπεία με ακτινοβολίες ενός καρκινοπαθούς, ή τη διάταξη των ανθρώπων καθώς χορεύουν με διαφορετικές μουσικές σε ένα πάρτι.⁴⁰

³⁹ Το περιβάλλον αυτό δεν είναι υποχρεωτικό να είναι φυσικό. Η μουσική, για παράδειγμα, εντάσσεται σε ένα πολιτισμικό περιβάλλον.

⁴⁰ Η θεωρία της εξέλιξης έχει συνδυαστεί με τις προσεγγίσεις περί πληροφορίας σε μία σειρά από κλάδους (ψυχολογία, κοινωνιολογία, επιστήμη υπολογιστών, οικονομικά, βιολογία, αστροφυσική, μουσική κ.λπ.). Το περιοδικό «Scientific American» αφιέρωσε ένα ειδικό τεύχος σε αυτά τα ζητήματα, με τίτλο Life in the Universe (εκδόσεις New York: W.H. Freeman, c1995) [258]. Ενδεικτικά, αναφέρουμε τρεις επιπλέον εργασίες, οι οποίες εφαρμόζουν τις θεωρίες αυτές στα πεδία της γλωσσολογίας και της βιολογίας. [259]–[261]

1.4.7 Αυτοσυντήρηση και Επικοινωνία: Οι δύο «υπερνόμοι» του σύμπαντος

Οι οντότητες, λοιπόν, οντολογικά εντοπίζονται μέσω της ύπαρξης των ορίων τους. Επίσης, μέσω των ορίων τους αλληλοεπιδρούν, ενώ η οντοφορία έχει χαρακτήρα σήματος ελέγχου. Μάλιστα, οι οντότητες νοούνται μόνο ως τμήματα ενός πληθυσμού, ως κομμάτια (λιγότερο ή περισσότερο) πολύπλοκων δικτύων. Με βάση αυτά, μπορούμε να διατυπώσουμε δύο αρχές, αυτές της «Αυτοσυντήρησης» και της «Επικοινωνίας» των οντοτήτων, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν σαν οι δύο θεμελιώδεις «υπερνόμοι» του σύμπαντος.

Η επικοινωνία, όπως την αντιλαμβανόμαστε ως καθημερινή έννοια, αφορά τη μετάδοση ενός μηνύματος, του οποίου ο αποστολέας και ο παραλήπτης μοιράζονται κοινό τρόπο κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησής του. Όταν σε μία θεατρική παράσταση ο υπάλληλος του θεάτρου εκφωνεί «Παρακαλώ, απενεργοποιήστε τα κινητά σας τηλέφωνα», τόσο ο ίδιος όσο και το κοινό ερμηνεύουν το μήνυμα αυτό με τον ίδιο τρόπο. Τα μηνύματα λοιπόν της ανθρώπινης επικοινωνίας προϋποθέτουν μία αμοιβαία κατανόηση. Επικοινωνία όμως μπορεί να υπάρχει και μεταξύ ενός σκύλου με το αφεντικό του, όταν για παράδειγμα του δίνει το παράγγελμα «κάτσε» και ο σκύλος κάθεται. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχει μία αμιγής αμοιβαιότητα. Ο λόγος είναι ότι ο σκύλος μπορεί να αναγνωρίσει το παράγγελμα / εντολή και όχι την έννοια η οποία εμπεριέχεται στη λέξη «κάτσε». Ο άνθρωπος, τη λέξη αυτή την εντάσσει σε ένα εννοιολογικό, σημασιολογικό, γραμματικό και συντακτικό πλαίσιο. Ο αποδέκτης του μηνύματος μάλιστα, ο σκύλος εν προκειμένω, δεν είναι σε θέση να την αναπαράγει.

Αναφέραμε, προηγουμένως, ότι οι οντότητες αλληλοεπιδρούν. Μέσω της διαδικασίας αυτής αλληλοεπιδρούν τα όριά τους και ο διαμοιρασμός του οντοφορικού ορίου γεννά τις προϋποθέσεις για την ενδεχόμενη εμφάνιση φαινομένων, δράσεων ακόμα και δημιουργίας νέων οντοτήτων. Οι δράσεις αυτές, παρόλο που δεν εμπεριέχουν την ενσυνείδητη μετάδοση ενός μηνύματος, έχουν επικοινωνιακό χαρακτήρα. Μπορούμε να πούμε μάλιστα ότι ένα κύτταρο επικοινωνεί με το περιβάλλον του μέσω της μεμβράνης του, ένα φυτό με τον ήλιο και φωτοσυνθέτει. Ακόμα και η κλωτσιά της μπάλας είναι μίας μορφής επικοινωνιακής δράσης.

Όταν οι οντότητες αλληλοεπιδρούν τότε μεταβάλλεται το όριό τους, αφού μέσω αυτού γίνεται αλληλεπίδραση. Όπως έχουμε αναφέρει, η μεταβολή του ορίου είναι μέσω διαπίστωσης της αλληλεπίδρασης, αλλά και όρος πραγμάτωσής της. Ως Επικοινωνία λοιπόν, μπορούμε να θεωρήσουμε την τάση των οντοτήτων να μεταβάλλουν τα όριά τους. Υπάρχει όμως και η αντίρροπη τάση, αυτή της μη μεταβολής του ορίου τους, πρόκειται για την Αυτοσυντήρηση των οντοτήτων.

Οι οντότητες, ως τμήματα ενός δικτύου τίθενται de facto σε καθεστώς επικοινωνίας. Οι επιδράσεις της επικοινωνίας αυτές μπορεί να έχουν τέτοια δυναμική η οποία να απειλεί την επιβίωση των οντοτήτων. Οι οντότητες αναπτύσσουν μηχανισμούς αντίστασης στις επιδράσεις αυτές. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η αυτοσυντήρησή τους. Αφού αλληλεπίδραση (επικοινωνία) σημαίνει μεταβολή ορίων, η αντίσταση σε αυτή (αυτοσυντήρηση) σημαίνει διατήρηση των ορίων.

Κάθε οντότητα επιβάλλεται τόσο να επικοινωνεί όσο και να αυτοσυντηρείται, γι' αυτό και οι νόμοι αυτοί έχουν οικουμενικό χαρακτήρα. Μία οντότητα, για να υπάρχει, πρέπει να έχει όρια. Όμως παράλληλα, γίνεται τμήμα ενός δικτύου, άρα εκ των πραγμάτων

«αναγκάζεται» να επικοινωνήσει. Οντότητα χωρίς επικοινωνία δεν υφίσταται. Καμία οντότητα δεν «ξεφύτρωσε» από μόνη της, από παρθενογένεση. Είναι παράγωγο της αλληλεπίδρασης ορίων άλλων οντοτήτων. Επομένως, είναι παράγωγο επικοινωνιακών διαδικασιών. Επίσης, στη φύση, δεν υπάρχει πραγματικά απομονωμένο σύστημα. Σε κάθε οντότητα ασκούνται δυνάμεις, άρα υπόκειται σε (αλληλοεπι)δράσεις. Επομένως, βρίσκεται σε μία μόνιμη κατάσταση μεταβολής ορίου (=επικοινωνία). Επίσης, αφού ισχύει η προϋπόθεση της ύπαρξης ορίων για τον χαρακτηρισμό «κάτι» ως οντότητα, τότε πρέπει με κάποιον τρόπο τα όρια να μπορούν να εντοπιστούν. Ο εντοπισμός για να γίνει δεν προϋποθέτει την παρατήρηση από έναν ανθρώπινο παράγοντα. Προϋποθέτει όμως την εκδήλωση φαινομένων τα οποία λειτουργούν ως ενδείξεις ύπαρξης των οντοτήτων. Η εκδήλωση φαινομένων είναι de facto προϊόν αλληλεπίδρασης, άρα «επικοινωνίας». Η επικοινωνία είναι άλλοτε εποικοδομητική (π.χ. ο θηλασμός του παιδιού από τη μητέρα) και άλλοτε «αποικοδομητική» (π.χ. σε έναν αγώνα μποξ).

Στην περίπτωση όμως μία εξαιρετικά γενικευμένης επικοινωνιακής δράσης θα έχω αντίστοιχα μεγάλη αλλαγή των ορίων της οντότητας. Αυτή η τόσο διευρυμένη αλλαγή μπορεί να επεκταθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε η οντότητα να χάσει ταυτολογικά της χαρακτηριστικά ή να αποκτήσει καινούρια. Σε κάθε περίπτωση, η «παλιά οντότητα» παύει να υπάρχει ως τέτοια.⁴¹ Ένα πολύ απλό παράδειγμα αυτού του φαινομένου, αποτελεί το παιχνίδι «το χαλασμένο τηλέφωνο». Στο παιχνίδι αυτό, ο πρώτος παίκτης λέει χαμηλόφωνα, στο αυτί του διπλανού του, μια φράση. Τη φράση αυτή τη μεταφέρει με τον ίδιο τρόπο ο δεύτερος στον τρίτο και πάει λέγοντας. Αν σκεφτούμε τη φράση αυτή ως οντότητα, κάθε φορά που «επικοινωνείται» από τον έναν παίκτη στον άλλον, αλλάζει (αλλάζουν τα όριά της). Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, μετά από μία σειρά από παίκτες, η φράση η οποία θα προκύψει να μην έχει καμία σχέση με την πρώτη. Η αρχική φράση ενδέχεται να μην μπορεί να ανακτηθεί. Η αρχική οντότητα «πέθανε» λόγω υπερβολικής «επικοινωνίας». Αντίστοιχα, σε κάθε στιγμή του, το σύμπαν αποτελούνταν από συμπαντικές οντότητες. Στα 13,8δις χρόνια ζωής του σύμπαντος, αυτό έχει διανύσει διάφορες εποχές (eras), η μετάβαση από τη μία στην άλλη έγινε με αργό, σταδιακό τρόπο. Οι τωρινές οντότητες όμως, οι γαλαξίες, τα ηλιακά συστήματα κ.λπ. δεν έχουν καμία μορφική / δομική σχέση με τα συμπαντικές οντότητες τα πρώτα εκατομμύρια χρόνια μετά το big bang. Η αλληλεπίδραση (επικοινωνία) η οποία συνέβαινε στο σύμπαν έκανε τις παλιές οντότητες να «πεθάνουν» και να εμφανιστούν οι τωρινές. Αντίστοιχο φαινόμενο είναι αυτό της γλώσσας. Κάθε άνθρωπος μπορεί να επικοινωνήσει με τους γονείς και τους παππούδες του, μοιράζονται κοινό γλωσσικό κώδικα. Αν ταξιδέψουμε στην χρονική αλυσίδα αυτή προς τα πίσω, οι παππούδες επικοινωνούν με τους δικούς τους, αυτοί με τους δικούς τους και πάει λέγοντας. Όμως, ενώ η σχέση αυτή συνεχίζεται αδιάκοπα ένας τωρινός άνθρωπος δε θα μπορούσε σε καμία περίπτωση να επικοινωνήσει με έναν των ομηρικών χρόνων. Ενώ οι γλωσσικές οντότητες του σήμερα θα μπορούσε να

⁴¹ Ο κ. Καμπουράκης έχει προτείνει το εξής πείραμα σκέψης: «Ας σκεφθούμε ένα μπαλόνι στο οποίο την επιφάνεια ανοίγουμε μικρές τρύπες με ένα πολύ γρήγορο laser τόσο ώστε να μην προλαβαίνει να ξεφουσκώσει. Όταν το ποσοστό των τρυπών είναι 50% το όριο του μπαλονιού υφίσταται αν και έχει μεταβληθεί επιτρέποντας μεγάλη επικοινωνία του εσωτερικού του με το εξωτερικό. Όμως όταν το ποσοστό των τρυπών (επικοινωνία) είναι 100% τότε η μεν επικοινωνία έχει μεγιστοποιηθεί αλλά βέβαια η οντότητα μπαλόνι δεν υφίσταται.»

πει ότι είναι οι ίδιες, αλλά σε μεταλλαγμένη εκδοχή, με αυτές κάποιων αιώνων πίσω, είναι σίγουρα διαφορετικές με αυτές των «ομηρικών ελληνικών».

Η εγγενής τάση των οντοτήτων να αντιστέκονται στη μεταβολή των ορίων τους, η αυτοσυντήρησή τους δηλαδή, τις προφυλάσσει από τις «επιπτώσεις» της επικοινωνίας.⁴² Η αυτοσυντήρηση και επικοινωνία είναι ανταγωνιστικοί νόμοι. Η επικράτηση του ενός εις βάρος του άλλου έχει ως αποτέλεσμα τον εκμηδενισμό της οντότητας. Αναφερθήκαμε προηγουμένως στις συνέπειες της μεγιστοποίησης της επικοινωνίας, χωρίς την παρουσία κάποιας αυτοσυντηρητικής διαδικασίας. Αντίστοιχα, η μεγιστοποίηση της αυτοσυντήρησης δε θα επιτρέψει στην οντότητα να εξελιχθεί ώστε να προσαρμοστεί στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Για παράδειγμα, αν κάποιος αναζητήσει δουλειά σε μια χώρα άλλη από τη δικιά του, και λειτουργήσει αμιγώς αυτοσυντηρητικά (επιλέξει να συνεχίσει να μιλάει παντού και πάντα τη γλώσσα του για παράδειγμα) τότε δε θα μπορέσει να καλύψει ούτε τις βασικές του ανάγκες (π.χ. τροφή, περίθαλψη κ.λπ.). Ίσως οι πιο αυτοσυντηρητικές οντότητες που να συναντώνται στο σύμπαν είναι οι μαύρες τρύπες, οι οποίες, λόγω του βαρυτικού τους πεδίου, δεν επιτρέπουν ούτε καν στο φως να διαφύγει, επομένως δεν μπορείς να αλληλεπιδράσεις μαζί τους.

Οι δύο αυτοί νόμοι έχουν τον χαρακτήρα υπερνόμων γιατί το όριό τους είναι συμπαντικό και ισχύει για πάντα.⁴³ Μάλιστα, είναι νόμοι ελέγχου και συστατικά του οντοφορικού ορίου κάθε πραγματικότητας, αφού είναι ιεραρχικά οι πρώτοι και πιο θεμελιώδεις νόμοι συγκρότησης της κάθε οντότητας. Η αυτοσυντήρηση και η επικοινωνία δρουν ταυτόχρονα μεταβάλλοντας το όριο της οντότητας στον χώρο και στον χρόνο, έτσι ώστε να μην μεγιστοποιείται καμία από τις δύο, και διατηρώντας την εντροπία του συστήματος στα πλαίσια της «ηλικίας» του. Όταν μεταβάλλεται το όριο της οντότητας, αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη διαφορετικών διατάξεων, διαφορετικού αριθμού χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων. Με αυτόν τον τρόπο αλλάζει η εντροπία τους. Η ηλικία των οντοτήτων έχει να κάνει με τη διάρκεια της ύπαρξής τους, άρα με τη διάρκεια της αλληλεπίδρασής τους με άλλες οντότητες καθώς και της δικιάς τους αυτόνομης εξέλιξης με βάση τον δομικό τους προγραμματισμό (από την οντοφορία τους). Όπως στη μελέτη των συστημάτων έχει συνδεθεί το βέλος του χρόνου με την εντροπία, αντίστοιχα, η εντροπική εξέλιξη των οντοτήτων, η οποία είναι παράγωγο των μηχανισμών αυτοσυντήρησης και επικοινωνίας τους, συνδέεται με τον δικό τους χρόνο, την «ηλικία» τους.

⁴² Χαρακτηριστικό παράδειγμα «μη προφύλαξης» είναι η εξαφάνιση του πουλιού «Διδώ» ή dodo (*Raphus cucullatus*) στα μέσα του 17ου αιώνα. Τα διδώ (περιστέρια 17 κιλών, χωρίς δυνατότητα πτήσης) ήταν εξαιρετικά άφοβα ή και φιλικά προς τους ανθρώπους και όταν επισκέφθηκαν το νησί τους (Mauritius) τα Ευρωπαϊκά πληρώματα και οι σκλάβοι που μετέφεραν, χρησιμοποιήθηκαν ως τροφή. [262]

⁴³ Άλλωστε, ως νόμοι, είναι ο κάθε ένας ξεχωριστή οντότητα με όριο, το οποίο, εν προκειμένω, εκτείνεται στο χωρικό και χρονικό διηλεκές. Όταν η επικοινωνία μεταβάλλει τα όρια της άλλης (ή άλλων) οντότητας(των) ώστε να διατηρήσει ή διευρύνει τα δικά της, η δράση είναι αυτοσυντηρητική. Η επικοινωνιακή δράση διατηρεί η διευρύνει τα όρια των άλλων οντοτήτων. Οι δράσεις που δεν μεταβάλλουν τα όρια είναι συντηρητικές.

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάσαμε την προσέγγιση των φυσικών επιστημών σε σχέση με την έννοια της πληροφορίας. Αποπειραθήκαμε μία συγκριτική μελέτη των διαφορετικών προσεγγίσεων των βασικών κλάδων των φυσικών επιστημών οι οποίοι αναμετρώνται με την πληροφορία ως φυσικό μέγεθος (θερμοδυναμική, κβαντομηχανική, τηλεπικοινωνίες, βιολογία, θεωρητική φυσική, κυβερνητική, πληροφορική). Μέσω αυτής της πρωτότυπης συγκριτικής μελέτης προέκυψαν τέσσερα πορίσματα τα οποία απαντούν στο ερευνητικό ερώτημα 1 (βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ): 1) η πληροφορία είναι ανεξάρτητο φυσικό μέγεθος, 2) η πληροφορία είναι ανεξάρτητη από το υπόστρωμα στο οποίο εγγράφεται, 3) η ροή πληροφορίας οργανώνει δομές, και 4) παρατηρείται η αντιστροφή στη σχέση της πληροφορίας με τη φυσική πραγματικότητα. Πριν, η πληροφορία θεωρούνταν ως το αποτέλεσμα μιας παρατήρησης, ενώ, πλέον, η οντότητα προκύπτει ως παράγωγο της πληροφορίας. Αναδείχθηκε η άμεση σχέση που έχει αντιστροφή αυτή με τη φύση της πραγματικότητας (ερευνητικό ερώτημα 2, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Με βάση τα παραπάνω διατυπώσαμε μία πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία (ερευνητικό ερώτημα 3, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Διακρίναμε τις οντότητες σε τρεις κατηγορίες, βάσει του πληροφοριακού, ενεργειακού και υλικού τους περιεχομένου. Οι οντότητες αλληλοεπιδρούν μέσω των ορίων τους. Ως εκ τούτου, προτείναμε την ύπαρξη ορίων ως οντολογική προϋπόθεση και παρουσιάσαμε τους υπερνόμους της αυτοσυντήρησης (τάση διατήρησης των ορίων) και της επικοινωνίας (τάση αλλαγής των ορίων) ως νόμους καθολικής ισχύος σε όλες τις αξιωματικά δυνατές οντότητες.

Κεφάλαιο 2 Οντοφορική – Πληροφοριακή ερμηνεία της μουσικής

Στο Κεφάλαιο 1 διατυπώσαμε μία οντολογία βασισμένη στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος η οποία αξιώνει τη δυνατότητα εφαρμογής της σε οντότητες πέραν του αμιγώς φυσικού (υλικού – ενεργειακού) κόσμου, όπως οι πολιτισμικές. Στην ενότητα αυτή θα αποπειραθούμε να περιγράψουμε την εφαρμογή της στη μουσική (ερευνητικό ερώτημα 4, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιάσουμε τη διάκριση μεταξύ της μουσικής πληροφορίας (η πληροφορία ως το αποτέλεσμα της παρατήρησης) και της μουσικής οντοφορίας (οι μουσικές οντότητες ως παράγωγα της πληροφορίας) (ερευνητικό ερώτημα 5, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Στην υποενότητα 2.1 παρέχουμε μία βασική περιγραφή των χαρακτηριστικών τα οποία διέπουν το φαινόμενο μουσική και την καθιστούν ικανή μελέτη περίπτωσης της οντολογίας μας. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι η μουσική δομείται μέσω προτύπων (patterns), όπως εκτενώς παρουσιάζεται στην υποενότητα 2.2. Υπενθυμίζουμε ότι η οντοφορία είναι αυτή η οποία επιβάλλει τους κανόνες δόμησης των συστημάτων. Η μουσική οντότητα αποκτά τα χαρακτηριστικά της κυρίως από τις (γεωμετρικές) σχέσεις των ηχημάτων μέσω των οποίων δομείται. Στην προηγούμενη ενότητα αναφέραμε ότι η ροή πληροφορίας επιβάλλει οργανώσεις. Η ροή πληροφορίας η οποία συντελείται κατά την ακρόαση οργανώνει τις δομές του ανθρώπινου εγκεφάλου με τρόπο ώστε ο ακροατής να μπορεί να εντοπίζει δομικές συσχετίσεις στα ακούσματα τα οποία προσλαμβάνει (υποενότητα 2.3). Η συνεκτική περιγραφή της οντοφορικής – πληροφοριακής ερμηνείας της μουσικής γίνεται στην υποενότητα 2.4. Επιχειρείται η συσχέτιση της εντροπίας των μουσικών οντοτήτων με την προσδοκιμότητα την οποία γεννούν κατά την ακρόαση, η οποία, σύμφωνα με τον Meyer, συνδέεται με την αισθητική απόλαυση.

2.1 Η μουσική ως μελέτη περίπτωσης της πληροφοριακής οντολογίας

Η μουσική δεν επιλέχτηκε τυχαία ως μελέτη περίπτωσης (case study) περιγραφής της θεωρίας μας. Η μουσική είναι μία αμιγώς επικοινωνιακή διαδικασία. Μεταφέρει ένα αισθητικό «μήνυμα». Προφανώς, δεν πρόκειται για ένα τυπικό γλωσσικό μήνυμα, αλλά μεταφέρει «πληροφορία», αφού η μεταφορά αυτή δύναται να παράξει δράσεις (θα προκαλέσει συναισθήματα, θα εμπλουτίσει την εμπειρία ενός βιντεοπαιχνιδιού ή μιας ταινίας, θα οργανώσει τους ανθρώπους στο χώρο μέσω του χορού κ.α.). Μάλιστα, και το απλοποιημένο τηλεπικοινωνιακό μοντέλο του Shannon (πομπός, μέσο, δέκτης) βρίσκει το μουσικό του ανάλογο στο σχήμα συνθέτης, ακροατής, έργο. Στη μουσική, έχουμε έναν μετασχηματισμό των patterns, τα οποία είναι αποθηκευμένα στο μυαλό του συνθέτη, σε μουσική, η οποία θα «επικοινωνηθεί», θα «αλληλοεπιδράσει» με τον ακροατή.

Άλλωστε, η φράση «η μουσική είναι μαθηματικά» είναι ένδειξη του τρόπου δόμησης της (οντοφορία), ο οποίος είναι αρκετά αποκαλυπτικός για το πώς η μουσική αποκτά ιδιότητες (πληροφορία). Ο Πυθαγόρας και ο Αριστόξενος ήταν οι πρωτοπόροι, οι οποίοι

σύνδεσαν με αριθμητικές και γεωμετρικές σχέσεις την έννοια του τονικού ύψους. Η αισθητική της ομορφιά πρόκυψε, για τους πυθαγόρειους, μέσω των αρμονικών σχέσεων των αριθμών οι οποίοι εξέφραζαν τη λειτουργία της. Και επειδή, ακριβώς, φέρουν σήμα του αισθητικού κάλους ήταν οι αριθμητικές και γεωμετρικές αναλογίες οι οποίες εντοπίζονταν στη μουσική, η αναζήτηση παρεμφερών σχέσεων και σε μη μουσικά φαινόμενα προσέδιδε ιδιότητες «ομορφιάς» σε αυτά. Η κοσμική αρμονία συνδυάστηκε με τη μουσική αρμονία (θεωρία της αρμονίας των σφαιρών). Έτσι, η αστρονομία συνδέθηκε με τη μουσική. Οι γεωμετρικές σχέσεις των πλανητών παραλληλίστηκαν με αυτές τις μουσικές και μέσω αυτής «δανείστηκαν» αισθητική αξία.

Αυτό το οποίο έκαναν πρακτικά οι πυθαγόρειοι είναι η συσχέτιση δομικών μουσικών patterns με συναισθηματικές / αισθητικές διαδικασίες. Το πιο έκδηλο φαινόμενο αυστηρά δομημένων pattern, τέτοιας πυκνής γεωμετρικής ύφανσης είναι η θρησκευτική μουσική της δύσης με αποκορύφωμα τα έργα του Μπαχ. Κάθε μουσική, όμως, ως οργανωμένος ήχος, όπως εύστοχα την έχει ορίσει ο Varese, δομείται από τέτοιες σχέσεις.

Η μουσική σημειολογία, δανειζόμενη εργαλεία από τη δομική γλωσσολογία, αξιοποιεί τα πορίσματα της μουσικολογικής ανάλυσης και αναζητά τη σύνδεση των patterns αυτών (σημαίνοντα) με συναισθήματα, αισθήσεις και συνειρμούς (σημαινόμενα). Τον τρόπο διάδοσής τους σε ένα ανταγωνιστικό (πολιτιστικό) περιβάλλον τον περιγράφει η μιμιδιακή επιστήμη. Έτσι λοιπόν, το μουσικό συνεχές τεμαχίζεται (segmentation), μέσω διάφορων τεχνικών που έχουν προταθεί (με βασικότερα τα gestalt closing principle και implication realization model του Eugene Narmour), και καθίσταται, με τον τρόπο αυτό, δυνατή η μελέτη της συγκρότησης και δόμησης των μουσικών οντοτήτων μέσω του τρόπου διαχείρισης των τεμαχίων αυτών. Τα τεμάχια αυτά ομαδοποιούνται ανάλογα με τον βαθμό ομοιότητάς τους και εξετάζεται η οργάνωσή τους (συνταγματική και παραδειγματική σημειωτική ανάλυση). Παράλληλα, εξετάζεται ο βαθμός ομοιότητας των pattern με αντίστοιχα άλλων μουσικών οντοτήτων ώστε να διαπιστωθεί ο αρχετυπικός τους χαρακτήρας. Αυτή η σύγκριση συμβάλλει σε μία εξελικτική μελέτη του τρόπου δόμησης της μουσικής (μουσική μιμιδιακή). Με τις νέες θεωρίες ανάλυσης της μουσικής (π.χ. Σενκεριανή ανάλυση, pitch class set theory, Music Information Retrieval, ανάλυση μέσω φασματογραφήματος) οι παραπάνω προσεγγίσεις βρίσκουν εφαρμογή στα περισσότερα (αν όχι σε όλα) είδη της μουσικής (με εφαρμογές στην εθνομουσικολογία, στην ηλεκτρονική / ηλεκτροακουστική μουσική, στη σύγχρονη δημοφιλή, στη σειραϊκή, στην αλγοριθμική κ.α.), και όχι μόνο της κλασικής τονικής δυτικής μουσικής.

Ο Meyer εντοπίζει την ανάπτυξη του μουσικού νοήματος στην εκπλήρωση ή όχι της προσδοκίας του ακροατή. [18] Αυτή η εκτίμηση επιβεβαιώνεται και από μία σειρά από μελέτες, κυρίως της νευρολογίας, όπως αυτές των Salimpoor και Zatorre [19], [104]. Ο Bateson, στον διάσημο ορισμό του, έχει πει ότι η πληροφορία είναι μία διαφορά η οποία παράγει διαφορά. [58] Στην πράξη, αυτή η προσέγγιση ταιριάζει απόλυτα με την άποψη του Meyer. Ολόκληρο το μουσικό φαινόμενο στηρίζεται στο παιχνίδι της προσμονής / προσδοκίας, δηλαδή με το αν θα ακούσω αυτό που περιμένω ή όχι. Το τι θα ακούσω, σε σχέση με αυτό που περιμένω, είναι η διαφορά, μέσω της οποίας θα προκύψει μία διαφορά (εν προκειμένω, η αλλαγή συναισθήματος). Όσο μικρότερη η εντροπία ενός μουσικού έργου τόσο μικρότερη και η δυνατότητα να παράξει εκπλήξεις. Η αξιοποίηση της αποθηκευμένης μουσικής πληροφορίας, τόσο για τη σύνθεση ενός μουσικού έργου,

όσο και για τη δυνατότητά του να επηρεάζει τον ακροατή είναι παράγωγα πληροφοριακών (οντοφορικών) διαδικασιών.

Η σύγχρονη επιστήμη περιγράφει το πώς η πληροφορία δε θεωρείται απλώς φυσικό μέγεθος, ισοδύναμο με την ύλη και την ενέργεια, αλλά και το ότι τείνει να αναγνωρισθεί ως θεμελιακού χαρακτήρα, το οποίο ορίζει τη φυσική πραγματικότητα. Μία οντολογική αξιοποίηση της πληροφορίας μπορεί να δώσει νέα πνοή στην ερμηνεία της πολιτισμικής πραγματικότητας. Εν προκειμένω, η πληροφορία (οντοφορία) μπορεί να εφαρμοσθεί στην ερμηνεία, ανάλυση και σύνθεση των μουσικών οντοτήτων, την περιγραφή του τρόπου δόμησής τους καθώς και αλληλεπίδρασής τους.

2.2 Μουσικά Πρότυπα (patterns) ως έκφραση της οντοφορίας

Η ενότητα που ακολουθεί θέτει κάποιες βασικές θεωρητικές προσεγγίσεις του φαινομένου της μουσικής, οι οποίες θα μας παρέχουν τα εργαλεία για την εφαρμογή της θεωρίας της οντοφορίας σε αυτό.

Αναφερθήκαμε στο ότι η οντοφορία δίνει τις οδηγίες για τη δόμηση των οντοτήτων και περιγράφει τον τρόπο αλληλεπίδρασής τους, καθώς και των τμημάτων που τις απαρτίζουν. Επομένως, πρέπει να διερευνήσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα προσεγγίσουμε τις βασικές μουσικές μονάδες. Είναι αλήθεια, ότι οι γενετιστές βιολόγοι αναζητούν τη σχέση των νουκλεοτιδίων και οι μουσικολόγοι των νοτών. Αυτή είναι όμως η μικρή, απλουστευμένη και σε κάποιες περιπτώσεις παραπλανητική αλήθεια. Το παράδειγμα της γλώσσας είναι περισσότερο διαφωτιστικό. Το ανάλογο της νότας και του νουκλεοτιδίου για τη γλώσσα είναι το γράμμα. Βλέπουμε όμως ότι οι φιλόλογοι και οι γλωσσολόγοι ασχολούνται πρωτίστως με τις λέξεις, τις φράσεις, τις προτάσεις, τη γραμματική και το συντακτικό τους. Ασχολούνται λοιπόν με τις ομάδες τις οποίες χτίζουν τα γράμματα, καθώς και με τον τρόπο με τον οποίο οι ομάδες αυτές συγκροτούνται και οργανώνονται. Αντίστοιχα λοιπόν, οι γενετιστές, στην πραγματικότητα, ψάχνουν να συσχετίσουν τον τρόπο με τον οποίο οι ομάδες των νουκλεοτιδίων συνδέονται με τα χαρακτηριστικά των οργανισμών. Έτσι λοιπόν, πρωταρχική μορφή οργάνωσης της μουσικής δεν είναι η νότα, αυτή καθαυτή, αλλά ο τρόπος με τον οποίο οι νότες διαμορφώνουν ομάδες. Άλλωστε, δεν έχει τόση σημασία αν το χριστουγεννιάτικο τραγούδι «αχ, έλατο» το τραγουδήσουμε αρχινώντας με τις νότες Ντο – Φα – Φα – Φα, ή Σολ – Ντο – Ντο – Ντο, αλλά το γεγονός ότι επιλέγουμε ένα διάστημα τέταρτης καθαρής και μετά ταυτοφωνία. Με αυτό το απλό παράδειγμα, παρατηρούμε, ότι δε μας αφορά τόσο η επιλογή των εκάστοτε νοτών, αλλά η σχέση μεταξύ τους. Η σχέση μεταξύ των νοτών όταν αυτές χτίζουν ομάδες με κάποιο μουσικό νόημα (όταν δεν είναι απλώς διάσπαρτοι ήχοι) διαμορφώνουν μουσικά πρότυπα (patterns).

Την περιγραφή των μουσικών προτύπων θα περιγράψουμε στην ενότητα αυτή, παραθέτοντας αποσπασματικά σχόλια, για το πώς τα όσα περιγράφονται συνδέονται με την οντολογική αξιοποίηση της έννοιας της πληροφορίας την οποία προτείνουμε.

2.2.1 Η μουσική ως δομή και ως μέσο επικοινωνίας

Η μουσική είναι αδιαμφισβήτητα ένα μέσο επικοινωνίας. Ένας πομπός, ο συνθέτης, κωδικοποιεί ένα μήνυμα, το οποίο απευθύνεται σε έναν δέκτη, τον ακροατή. Η εμπειρία με τη μουσική, η συστηματική ενασχόληση, είτε πρόκειται για ακαδημαϊκό ενδιαφέρον, είτε για μεθοδική και προσεκτική ακρόαση, αναδεικνύει κώδικες και ηχητικές οργανώσεις οι οποίες, λόγω του αφηρημένου χαρακτήρα της μουσικής ως τέχνη εν γένει, είναι σε πρώτη φάση κρυφές. Αυτοί οι κώδικες έχουν δομή και οργάνωση και υπακούν σε κανόνες, οι οποίοι είτε είναι καθολικοί και έχουν μία οικουμενικότητα, είτε είναι στοιχεία του προσωπικού ύφους και στυλ κάθε συνθέτη, ο οποίος έχει τη δικιά του «μουσική γλώσσα». Η φράση «μουσική γλώσσα» δεν είναι τυχαία τόσο αντιπροσωπευτική στα παραδείγματα που αφορούν τη μουσική.

Η αναφορά στη γλώσσα του σώματος όμως είναι δόκιμη, γιατί οι οργανωμένες συσχετίσεις των μελών του σώματος, συγκροτούν patterns, τα οποία έχουν συσχετιστεί με συγκεκριμένα μηνύματα, που προτίθενται να μεταδώσουν (π.χ. γκριμάτσες, χειρονομίες κ.α.). Το κλείσιμο του ματιού, το νεύμα του κεφαλιού, το γύρισμα της πλάτης, το σηκωμένο χέρι στην τάξη, τα παλαμάκια σε μία συναυλία, η σηκωμένη γροθιά σε μία κινητοποίηση, ή ο ναζιστικός χαιρετισμός είναι φορείς νοημάτων.⁴⁴ Μπορούμε να πούμε ότι ως δομικές συγκροτήσεις σημαίνουν μια έννοια η οποία δεν έχει σε πρώτη φάση συσχέτιση με τις συγκροτήσεις αυτές. Είναι συσχετίσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από ένα κοινωνικό σύνολο για να πυροδοτήσουν ένα σημαίνόμενο. Όπως η λέξη «φωτιά» (η αλληλουχία των γραμμάτων δηλαδή «φ», «ω», «τ», «ι», «ά»), είτε την ακούμε, είτε τη διαβάζουμε, μας φέρνει στο μυαλό την έννοια «φωτιά», έτσι και η τοποθέτηση του δεύτερου δακτύλου, του δείκτη, μπροστά από τα χείλη, φωτογραφίζει την εντολή για «ησυχία». Έχουμε λοιπόν οργανώσεις ενός υλικού (είτε πρόκειται για επιλογή γραμμάτων, είτε για τοποθετήσεις μελών του σώματος) οι οποίες λειτουργούν ως σημαίνοντα μιας σημαίνουσας έννοιας. Αυτές οι συσχετίσεις είναι τόσο βαθιά ριζωμένες στο εκάστοτε κοινωνικό σύνολο, σε σημείο που η σχέση σημαίνοντος και σημασινομένου είναι αδιαίρετη. Συγκροτείται το ένα μέσω του άλλου. Ο «χριστιανισμός» συγκροτείται μέσα από το σύμβολο του «σταυρού». Το σύμβολο του σταυρού δημιουργεί αυτόματους συνειρμούς, όπως κάθε σύμβολο (το σύμβολο της ειρήνης, το σφυροδρέπανο, η σβάστικα κ.λπ.). Πρόκειται για τα λεγόμενα «σημεία», κατά τον Ferdinand de Saussure, ο οποίος εισήγαγε τη δομική μελέτη στη γλωσσολογία. Υπάρχουν στη μουσική ηχητικά συμβάντα τα οποία προκαλούν παρεμφερείς συνειρμούς δημιουργώντας έτσι μία άρρηκτη σύνδεση της ηχητικής δομικής μονάδας και μιας αισθητικής, συναισθηματικής και νοηματικής «έννοιας»;

Η μουσική ως τέχνη είναι αυτοαναφορική, αναφέρεται δηλαδή στον εαυτό της. Από το δικό της σύμπαν πηγάζει η νοηματοδότηση. Στη γλώσσα, η έννοια φωτιά είτε σημαίνει ως «φωτιά», για τους ελληνόφωνους, είτε ως «fire», για τους αγγλόφωνους, είναι σαφής, συγκροτημένη, αναγνωρίσιμη, καθολική και οικουμενικά αναγνωρισμένη. Αντίθετα, η μουσική δημιουργεί η ίδια τις έννοιες με τις οποίες επιδιώκει να συσχετιστεί. Ακόμα και οι βασικές διακρίσεις του συναισθηματικού κόσμου, όπως η χαρά, η λύπη, ο ενθουσιασμός, η αγωνία, ο φόβος κ.λπ., δεν έχουν ένα σαφή χαρακτήρα και δε

⁴⁴ Πρόκειται για «διαφορές οι οποίες κάνουν διαφορές». Με άλλα λόγια, αποτελούν οντοφορικές διαδικασίες, αφού παράγουν εν δυνάμει δράσεις.

συγκροτούν αυτοτελείς και σαφείς έννοιες που να συνδέονται άμεσα με ένα μουσικό σημαίνον. Είναι περισσότερο γενικόλογοι «τίτλοι» παρά διακριτές έννοιες. Άλλωστε, η μουσική, όπως και κάθε τέχνη εν γένει, έχει έντονη την υποκειμενικότητα σε ότι αφορά την πρόσληψη και αποκωδικοποίησή της. Αυτή η αυτοαναφορικότητα της μουσικής καθώς και η αδυναμία απόλυτης σύνδεσης μιας μουσικής δομικής μονάδας με ένα μεταμουσικό συμφραζόμενο, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα μουσικά «σήματα» χαρακτηρίζονται από την απουσία σημαινομένου. Αυτή είναι μια βολική τοποθέτηση, με δόσεις αλήθειας. Πράγματι, καθρεφτίζει με σαφήνεια την ασάφεια που υπάρχει μεταξύ της σύνδεσης του ηχητικού υλικού με μία μουσική – αισθητική νοηματοδότηση. Παρόμοια ασάφεια δε συναντάται στη γλώσσα, όπου υπάρχει αδιαμφισβήτητη σύνδεση της έννοιας (σημαινόμενο) με το γλωσσικό της σημαίνον.

Παρά όμως τη βολική αυτή θεώρηση, της απουσίας δηλαδή σημαινομένου στα μουσικά σημεία, θεμελιώδη στοιχεία της μουσικής λειτουργίας μένουν χωρίς ερμηνεία.

Για παράδειγμα, το ρέκβιεμ, ή το ηπειρώτικο μοιρολόι, παραπέμπουν ευθέως σε πένθος και θρήνο (τουλάχιστον για τους συμμετέχοντες στην πολιτισμική ομάδα από την οποία πηγάζουν και στην οποία απευθύνονται τα είδη αυτά). Αντίστοιχα, το νανούρισμα δημιουργεί συνθήκες ηρεμίας και ασφάλειας οι οποίες συμβάλλουν στο να μεταβεί σε κατάσταση ύπνου το μωρό. Το μαρς παραπέμπει ευθέως σε μία προέλαση ενός στρατού, ή σε κάποια παρέλαση. Αντίστοιχα, οι ύμνοι (εθνικοί, θρησκευτικοί, πολιτικοί ή ακόμα και αθλητικοί) είναι φορείς των νοημάτων της ομάδας της οποίας λειτουργούν σαν ταυτοτικό σύμβολο. Αλλά ακόμα και σε πιο μικρές δομικές μονάδες, σε υποσύνολα ενός ολοκληρωμένου μουσικού έργου, παρατηρούμε άρρηκτες συνδέσεις. Το πτωτικό σχήμα δημιουργεί την αίσθηση της ολοκλήρωσης. Αντίστοιχα, διαφορετική λειτουργία έχει μία μείζονα, ελάσσονα, αυξημένη ή ελαττωμένη συγχορδία. Μία ξαφνική μακρινή μετατροπία οδηγεί σε μία αίσθηση αβέβαιης περιπλάνησης. Επίσης, μία απότομη αλλαγή στη δυναμική (π.χ. ένα subito piano μετά από ένα forte) επιβάλλει ένα υφολογικό καταλάγιασμα. Επομένως, η απουσία σημαινομένου στα μουσικά σημεία είναι μάλλον κάτι το ανακριβές. Υπάρχει σημαινόμενο, το οποίο όμως πηγάζει από την ηχητική δομή αυτή καθαυτή. Δεν υπάρχει κάποια εκ των προτέρων έννοια, όπως η φωτιά, η οποία αναζητά μία ηχητική ταμπέλα για να συνδεθεί. Η έννοια αυτή δημιουργείται από την ίδια τη μουσική. Επί της ουσίας, μπορούμε να μιλήσουμε για μία ταύτιση σημαινόντος και σημαινομένου.

Η μουσική λοιπόν συγκροτείται σε «σημεία», στα οποία παρατηρείται μία ταύτιση σημαινόντος και σημαινομένου⁴⁵. Τα σημεία αυτά αρθρώνονται με συγκεκριμένους κανόνες στον άξονα του χρόνου, υπακούοντας σε μια μορφή ενός «συντακτικού». Η επιλογή ενός μουσικού σημείου επηρεάζεται από όσα έχουν προηγηθεί και επηρεάζει με τη σειρά του όσα έπονται. Σε μία φούγκα, το θέμα θα εμφανιστεί διαδοχικά σε όλες τις φωνές, ενώ το αντίθεμα θα έχει υφολογική και δομική συγγένεια με το θέμα (είτε ομοιότητας, είτε αντίθεσης)⁴⁶. Μία σονάτα θα έχει την μορφολογική δομή της έκθεσης –

⁴⁵ Η συγκρότηση αυτή είναι αυτοσυντηρητικού χαρακτήρα, αφού επιβάλλει τη διατήρηση μίας μορφής (οντοφορικό όριο) ώστε να παραμείνει η σύνδεση (ταύτιση εν προκειμένω) με το μουσικό σημαινόμενο.

⁴⁶ Οι τροποποιήσεις στο αρχικό θέμα έχουν τόσο επικοινωνιακό χαρακτήρα, αφού λόγω της αλλαγής του αλλάζουν οι εν δυνάμει δράσεις του, άρα και το όριό του, αλλά και αυτοσυντηρητικό παράλληλα, αφού δίνουν μία αίσθηση ομοιογένειας, άρα διατήρησης του ορίου του μουσικού έργου.

ανάπτυξης – επανέκθεσης, με το κάθε μέρος να μοιράζεται σχέσεις με τα υπόλοιπα. Η ρυθμική αγωγή ενός θέματος ή ενός μοτίβου θα διαπερνά όλο το μουσικό έργο.

Οι παραπάνω οι δομικές συσχετίσεις των μουσικών σημείων αναδεικνύουν ένα ακόμα γεγονός. Η μουσική δεν είναι απλώς μία συνάρθρωση σημείων, είναι ένα σύστημα σημείων. Ως σύστημα μπορούμε να ορίσουμε ένα σύνολο στοιχείων, τα οποία συναρτώνται με ένα σύνολο σχέσεων, οι οποίες διέπονται από συγκεκριμένη νομοτέλεια. [105] Σε ένα σύστημα, τα επιμέρους στοιχεία αλληλοεπιδρούν και συσχετίζονται με τουλάχιστο ένα ακόμα στοιχείο του συστήματος, διαμορφώνοντας ένα σύνολο. Πρόκειται λοιπόν για ένα δίκτυο αλληλοεπιδρώντων στοιχείων, τα μουσικά σημεία. Η μουσική λοιπόν είναι ένα σύστημα σημείων.

Αντικείμενο της σημειολογικής έρευνας είναι καταρχάς η μελέτη των χαρακτηριστικών από τα οποία συγκροτούνται τα μουσικά σημεία, καθώς και της δομικής τους φύσης, του πώς δηλαδή συγκροτούνται ως σημαίνοντα. Στη συνέχεια ελέγχεται, ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα σημαίνοντα σηματοδοτούν την ύπαρξη σημασινομένων. Αφού γίνει αυτή η κατάτμηση του μουσικού υλικού σε μουσικά σημεία, εξετάζεται ο τρόπος άρθρωσής τους στο μουσικό έργο καθώς και οι μορφές τις οποίες παίρνουν, η γραμματική τους δηλαδή, ανάλογα με την περίπτωση χρήσης τους. Οι λέξεις «φωτιά» και «φωτιών» είναι διαφορετικές γραμματικές εκδοχές του ίδιου σημαίνοντος της έννοιας φωτιά. Ο τρόπος οργάνωσής τους και ο ρόλος τους σε μία ενότητα (π.χ. περίοδο, πρόταση) αφορά τη διατύπωση κανόνων συντακτικού. Επανερχόμαστε λοιπόν στην ιδέα ότι η μουσική επέχει στοιχεία γλώσσας, λειτουργεί ως γλώσσα. Είναι μια μορφή επικοινωνίας, που συγκροτείται μέσα από δομικές μονάδες, οι οποίες είναι φορείς νοημάτων, υπακούοντας σε γραμματικούς και συντακτικούς κανόνες, διαμορφώνοντας έτσι μέσω ενός συστήματος σημείων πολυεπίπεδα σύνολα (όπως περίοδοι, προτάσεις, παράγραφοι, ενότητες), συγκροτώντας ένα ολοκληρωμένο σύνολο⁴⁷.

Η αισθητική ερμηνεία ενός μουσικού έργου, προϋποθέτει άλλωστε, όπως διατυπώνει εύστοχα η Ο. Φράγκου – Ψυχοπαίδη, τον «εκγλωσσικισμό» του, εμφανίζεται δηλαδή η ανάγκη καταφυγής σε συμβατικούς γλωσσικούς τύπους. [106] Για να αποκαλυφθεί το βαθύτερο νόημα ενός μουσικού μηνύματος, τα σχήματα τα οποία έχει αναπτύξει η σημειολογική ανάλυση της μουσικής, στηρίζονται στην αναγνώριση της μουσικής «ως κώδικα επικοινωνίας, ως γλώσσα, ως σύστημα σημείων και τέλος ως κείμενο – φορέα ενός μηνύματος, του μηνύματος του δημιουργού του».[107]

Η μουσική πλέον θεωρείται πολύ κοντά στη γλώσσα, θεωρείται μία γλώσσα ουσιαστικά, και η γλώσσα μία μουσική. [108] Η προσέγγιση αυτή δεν περιορίζεται σε θεωρητικές και φιλοσοφικές αναζητήσεις, αλλά υποστηρίζεται από τα ευρήματα επιστημών, όπως είναι η ψυχολογία, η νευροφυσιολογία και η πληροφορική. [109] Μερικά από τα καθαρά παραδείγματα αυτής της τάσης στη μουσική ανάλυση εμφανίζονται στις εργασίες: [108], [110]–[112] Τις τελευταίες δεκαετίες οι αναλογίες μεταξύ γλώσσας και μουσικής αναζητούνται σε όλα τα επίπεδα, όπως στο φωνολογικό, λεξικό, μορφολογικό, συντακτικό, σημασιολογικό και στην ολόκληρη πραγματεία και κείμενο (discourse, text). [113]

⁴⁷ Η οντοφορία είναι αυτή που επιβάλλει τον τρόπο συγκρότησης αυτού του ολοκληρωμένου συνόλου.

Στην ενότητα αυτή δεν προσπαθούμε να ταυτίσουμε τη μουσική με τη γλώσσα. Αναγνωρίζουμε ότι ως διακριτά πεδία εδώ και αρκετούς αιώνες οι διαφορές τους είναι πολλές και ουσιαστικές. Παρόλα αυτά, ως φορείς επικοινωνίας, με κοινή καταγωγή, διέπονται από κάποια στοιχεία, κυρίως δομικής φύσης, τα οποία καθιστούν δόκιμη την αξιοποίηση μοντέλων ανάλυσης της γλώσσας στη μουσική. Η μουσική λοιπόν επέχει στοιχεία γλώσσας, δομείται από τεμάχια τα οποία είναι φορείς νοήματος, τα λεγόμενα σημεία. Τα σημεία αυτά διαπλέκονται μεταξύ τους αλληλοεπιδρώνενα, αναδεικνύοντας ότι η μουσική, όπως και η γλώσσα, είναι ένα σύστημα σημείων. Ως εκ τούτου, το πεδίο της σημειολογίας, παρόλο που συγκροτήθηκε πάνω στη μελέτη της γλώσσας, παρέχει χρήσιμα ερμηνευτικά σχήματα και εργαλεία και στη μουσική.

Παραπάνω διατυπώθηκε ότι η μουσική, περισσότερο από τις υπόλοιπες τέχνες έχει γλωσσική δομή. Ο κύριος λόγος για τον οποίο η μουσική ανήκει περισσότερο στα σημειακά συστήματα γλωσσικής δομής είναι κυρίως η εξωτερική της μορφή και η γραμμική φορά ανάγνωσής της. Οι άλλες τέχνες, κυρίως αυτές οι οποίες απευθύνονται στην αίσθηση της όρασης (η ζωγραφική, η γλυπτική και η αρχιτεκτονική) και αυτές οι οποίες προέρχονται από τις διάφορες εκφάνσεις του ανθρώπου στην καθημερινή του ζωή (π.χ. ενδυμασία [114]) αποτελούν μεν συστήματα, δεν υπάρχει όμως συγκεκριμένη αλληλουχία σημείων. Ένας πίνακας ζωγραφικής απαρτίζεται από επί μέρους τμήματα. Το ποιο τμήμα όμως θα επιλέξει ο θεατής να δει πρώτο, ποιο έπειτα, αν θα εστιάσει κάπου αποσπασματικά ή αν θα παρατηρεί τον πίνακα στην ολότητά του αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει μία και μοναδική ανάγνωση του πίνακα. Επί της ουσίας πρόκειται για μια τέχνη του «χώρου» σε αντίθεση με τη μουσική που είναι τέχνη του «χρόνου». Στις τέχνες του χώρου, κάθε επαφή μαζί τους δημιουργεί και έναν νέο τρόπο ανάγνωσής τους. Αντίθετα, τα γλωσσικά συστήματα (οι φυσικές γλώσσες, τα σήματα Μορς, οι γλώσσες προγραμματισμού, η μουσική κ.α.)⁴⁸ συναρμολογούν στο χρόνο τα σημεία από τα οποία αποτελούνται, δίνοντάς τους γραμμική ανάπτυξη και ως εκ τούτου συντακτικούς και γραμματικούς κανόνες.

Η μουσική, ως γλώσσα, είναι κώδικας ή σύστημα σημείων. Επομένως, αφού αποτελεί σημειακό σύστημα, η σημειολογία αποτελεί μία πολύ χρήσιμη ερμηνευτική μέθοδο. Το μουσικό «συνεχές» μπορεί να καταταμηθεί σε τμήματα, σε μονάδες, οι οποίες έχουν το δικό τους ρόλο στη διαμόρφωση του μουσικού έργου. Τα μικρότερα αυτά τμήματα, τα οποία όμως διατηρούν μία αυτονομία και μία αυτοτέλεια σε σχέση με το μουσικό συνεχές είναι τα λεγόμενα μουσικά «σημεία»⁴⁹. Μουσικό σημείο λοιπόν είναι ένα σύστημα από δύο τουλάχιστον ήχους που είτε ακούγονται συγχρόνως είτε σε διαδοχή, είτε τέλος, έχουν μια ευκρινή ιδιαιτερότητα. [115]

Στην περίπτωση της γλώσσας η λειτουργία του σημείου είναι προφανής, συσχετίζει αναντίρρητα μία έννοια με μία γλωσσική μονάδα, συνηθέστερα μια λέξη. Η σύνδεση αυτή είναι κοινή για όλους όσοι οι οποίοι συμμετέχουν στην ίδια γλωσσική κοινότητα. Είτε η γραπτή εικόνα, π.χ. οι χαρακτήρες της λέξης φωτιά, είτε η ακουστική εικόνα, π.χ. ο ήχος της εκφερόμενης λέξης φωτιά, φωτογραφίζουν την έννοια φωτιά. Στη μουσική, η

⁴⁸ Η κοινή ένταξή τους στα γλωσσολογικά στοιχεία είναι απόδειξη (αλλά και παράγωγο) της οντοφορικής τους συγγένειας.

⁴⁹ Αποτελούν οντότητες και αυτά, αφού έχουν όριο (η ύπαρξη του ορίου είναι η οντολογική προϋπόθεση της αναγνώρισης μίας οντότητας).

εξωτερική μορφή είναι αυτή που ορίζει ευκολότερα το σημείο. Και στη μουσική υπάρχει τόσο η γραπτή εικόνα, π.χ. οι νότες σε μία παρτιτούρα, όσο και η ηχητική, π.χ. το «παίξιμο» των νοτών αυτών. Δεν υπάρχει όμως μία κοινώς αποδεκτή, αυστηρά συγκροτημένη έννοια, με την οποία η εικόνα αυτή θα ταυτιστεί. Πρόκειται γι' αυτό που αναφέραμε προηγουμένως ως απουσία σημαινομένου.

Στην πραγματικότητα, όμως, η διαδοχή αυτή των φθόγγων έχει μία αυτοτέλεια, αφού συγκροτεί σημείο, η οποία θεωρείται πως μπορεί να σημαίνει κάτι. Αυτό που μπορεί να σημαίνει προκύπτει άμεσα από τη διαδοχή αυτή των φθόγγων. Όπως αναφέρει ο Σ. Τόμπρας, στο βιβλίο του «Μουσική και Σημειολογία» [107]: «Το μουσικό σημείο είναι ο συνδυασμός του ακουστικού ινδάλματος με τη γραφική του παράσταση. Αυτά τα δύο όμως αποτελούν το σημαινόν. Σημαινόμενο δεν υπάρχει στο μουσικό χώρο, αλλά είναι μια εξωμουσική έννοια που είναι πλάσμα του ακροατή, οποιοσδήποτε και να είναι αυτός, είτε ο ερμηνευτής – πρώτος δέκτης του μουσικού έργου, είτε ο ακροατής – ο τελικός αποδέκτης του μηνύματος. Το μουσικό σημείο είναι, όπως και το γλωσσικό, αυθαίρετο. Αλλά η συμβατικότητα του μουσικού σημείου υπερβαίνει εκείνη του γλωσσικού, γιατί «η επιλογή του σημαινόντος επαφίεται εξ ολοκλήρου στον ομιλητή (τον συνθέτη) και η σημασία του σημαινόντος, το σημαινόμενο δηλαδή, εξ ολοκλήρου στον ακροατή. Κάθε σύμπτωση των δύο αυτών πλευρών γίνεται μέσω μιας διαισθητικής διαδικασίας που είναι το θαύμα της μουσικής επικοινωνίας.» Πρόκειται για την «ταύτιση σημαινόντος και σημαινομένου» παρά για την απουσία σημαινομένου.

Έχουμε αναφερθεί στη λειτουργία της μουσικής ως σύστημα σημείων, όχι όμως στη δομική φύση του μουσικού σημείου.⁵⁰ Στη γλώσσα η συνηθέστερη μορφή γλωσσικού σημείου είναι η λέξη, η οποία χωρίζεται από τη φύση της σε σημαινόν και σημαινόμενο. Στη μουσική απουσιάζει μία τόσο διακριτή αυτόνομη μονάδα. Η μουσική, σε γενικές γραμμές είναι η διαδοχή φθόγγων. Κάθε φθόγγος έχει το ρόλο που έχει περίπου στη γλώσσα το γράμμα. Η διαδοχή φθόγγων διαμορφώνει υπό προϋποθέσεις μία κατασκευή η οποία κάτι σημαίνει, όπως αντίστοιχα η διαδοχή γραμμάτων διαμορφώνει λέξεις. Τα γράμματα του αλφαβήτου, μαζί με κάποιες ηχητικές εκφορές, οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνονται στην αλφάβητο, αποτελούν για τη σημειολογία στη μελέτη της γλώσσας τα «φωνήματα». Είναι οι ελάχιστες μονάδες συγκρότησης του συνταγματικού άξονα, ορίζονται ως ο συνδυασμός της ακουστικής εντύπωσης και των αρθρωτικών κινήσεων (στον χώρο της στοματικής κοιλότητας και του φάρυγγα) και επιτρέπουν την κατασκευή των δεκάδων χιλιάδων λέξεων με έναν ελάχιστο αριθμό βασικών μονάδων. Η επίσημη εκδοχή της ελληνικής γλώσσας αποτελείται από 31 φωνήματα. [105] Αντίστοιχα, η μουσική αρθρώνεται από τη σύνδεση ήχων. Αυτούς τους μεμονωμένους ήχους, οι οποίοι λειτουργούν με αντίστοιχο τρόπο όπως τα φωνήματα στη γλώσσα, η μουσική σημειολογία τους ονομάζει «ήχηματα». Ως «ήχημα» μπορεί να θεωρηθεί ο μεμονωμένος ήχος, ο οποίος αποκτά νοηματική υπόσταση μόνο σε σχέση με το ηχητικό του περιβάλλον, δηλαδή με τη θέση που καταλαμβάνει σε ένα μελωδικό σχήμα.⁵¹ [107]

⁵⁰ Στην αναζήτηση της δομικής συγκρότησης του σημείου πρέπει να απαντήσουμε στο ποια η μικρότερη διαφορά η οποία δύναται να παράξει διαφορές.

⁵¹ Αυτή η προσέγγιση είναι ισοδύναμη με το γεγονός ότι μία οντότητα (εν προκειμένω το μουσικό σημείο) πρέπει να έχει όχι μόνο αυτοσυντήρηση, αλλά και επικοινωνία. Με άλλα λόγια, πρέπει να αλληλοεπιδρά, λόγω της τάσης της να αλλάζει τα όριά της.

Τα φωνήματα, όπως και τα ηχήματα, δεν είναι φορείς σημείων, αφού από μόνα τους δεν έχουν σημασία. Ο συνταγματικός όμως συνδυασμός τους διαμορφώνει μία γλωσσολογική μονάδα, η οποία είναι η πρώτη που είναι φορέας σημασίας, επομένως είναι η πρώτη που συγκροτεί «σημείο». Πριν φτάσουμε όμως στο επίπεδο της «λέξης», ας εξετάσουμε το υπέρτερο επίπεδο του φωνήματος που είναι το «μόρφημα». «Το μόρφημα είναι το απλούστερο δυνατό και το κατώτερο ιεραρχικά σημείο, γιατί είναι φορέας σημασίας, και εμφανίζεται πάντα σε συνδυασμό με άλλο μόρφημα, ποτέ ανεξάρτητα. Μέσω των σχέσεων αυτών των δύο ειδών μορφημάτων περνάμε στις ανεξάρτητες μονάδες σημασίας, τις λέξεις.» [105] Για παράδειγμα, η λέξη «σπιτάκι» αναλύεται σε δύο μορφήματα, το λεξικό μόρφημα σπιτ- και το γραμματικό μόρφημα –άκι.

Στη μουσική, η μικρότερη μουσική δομή η οποία μπορεί να παραλληλιστεί με το γλωσσικό μόρφημα είναι δύο μουσικοί φθόγγοι και η σχέση την οποία αναπτύσσουν μεταξύ τους. Η σχέση αυτή μπορεί να είναι είτε στον κάθετο άξονα του χρόνου, σε συνήχηση, μία συγχορδία δηλαδή, είτε σε χρονική διαδοχή, στον οριζόντιο άξονα, μια μελωδία δηλαδή.⁵²

Αναζητώντας το μουσικό μόρφημα μορφολογικά, η πιο κοντινή συγγένεια την οποία εντοπίζει ο Σ. Τόμπρας [107] είναι αυτή του «μοτίβου». Είτε αποτελείται από δύο μόλις φθόγγους ή από περισσότερους, είναι σαφώς αναγνωρίσιμο δομικό κύτταρο το οποίο αποτελεί το υλικό συγκρότησης αυτόνομων σημασιολογικά μουσικών μονάδων, οι οποίες έχουν θέση σημείου. Προχωρώντας το συλλογισμό αυτό, η βασική ιδέα ενός μουσικού έργου με κάποια έκταση εκφράζεται από το μουσικό θέμα. Ένα θέμα μπορεί να έχει περιορισμένη έκταση, όπως συναντάται κυρίως στις μεγάλες μουσικές φόρμες όπως η σονάτα, ή να είναι διευρυμένο. «Το μουσικό θέμα είναι συνήθως κάτι περισσότερο από μία λέξη, ενώ αντίθετα το μόρφημα και το μοτίβο είναι τις περισσότερες φορές κάτι λιγότερο από αυτήν.» [107]

Αναφέρθηκε ότι προϋπόθεση για την αναγνώριση ενός μουσικού σημείου είναι η συνύπαρξη δύο τουλάχιστον ηχημάτων, σε συνήχηση ή / και σε διαδοχή. Στη γλώσσα έχουμε γραμμικότητα, δηλαδή τη συνεχή διαδοχή γλωσσικών σημείων. Το κάθε φώνημα, το κάθε μόρφημα, η κάθε λέξη κ.λπ. διαδέχονται το ένα το άλλο με γραμμικό τρόπο. Η μουσική όμως δεν είναι μία απλή ροή ενός φθόγγου κάθε φορά σε κάθε χρονικό στιγμιότυπο. Είναι ένα πλέγμα στοιχείων μελωδικών, αρμονικών και ρυθμικών. Άλλες δύο παράμετροι, οι οποίες ενυπάρχουν εγγενώς στο μουσικό σημείο είναι η αγωγική (η ταχύτητα εκτέλεσης) και η δυναμική. Το μουσικό σημείο λοιπόν απαρτίζεται από επιμέρους παραμέτρους, σε αυτονομία αλλά και σε σύνδεση μεταξύ τους. Πρόκειται για το «σημειολογικό πεντάγραμμο» της μουσικής, όπως έχει εισαχθεί ως όρος από τον Σ. Τόμπρα. [107] (Τόμπρας, 1998) Το μουσικό φαινόμενο είναι ένα «υφαντό» πολλαπλών παραμέτρων. Κάθε μουσικό συμβάν, ενώ ως άκουσμα έχει έναν ενιαίο χαρακτήρα στην πραγματικότητα είναι ένα πολυπαραγοντικό φαινόμενο, με τους επί μέρους παράγοντες να χαρακτηρίζονται από μία πολυγραμμικότητα. Έχουμε να κάνουμε με την ολοκλήρωση πολλαπλών στοιχείων.

⁵² Οι δύο φθόγγοι εξασφαλίζουν την ύπαρξη διαφοράς, ώστε να μπορούν να παραχθούν διαφορές μέσω της δράσης τους.

2.2.2 Μουσική και Εξέλιξη

Ο Δαρβινισμός προσέφερε έναν νέο τρόπο ερμηνείας της μορφής των οντοτήτων. Η οντολογία άρχισε να εξετάζει τις οντότητες στη διαχρονία τους, να αποδεικνύει επιστημονικά ότι δεν υπάρχει «παρθενογένεση» στη φύση και ότι όλα τα όντα, έμβια και μη, είναι παράγωγα μιας εξελικτικής διαδικασίας με παραπλήσιους κανόνες. Η μεθοδολογία η οποία επέκτεινε τη θεωρία του Δαρβίνου πέρα από το αρχικό πεδίο εφαρμογής της, τη βιολογική εξέλιξη των ειδών στη Γη δηλαδή, ονομάστηκε Οικουμενικός Δαρβινισμός (universal Darwinism) και εφαρμόστηκε σε ένα εύρος πεδίων, από την ψυχολογία, τον πολιτισμό και τα οικονομικά, έως την επιστήμη των υπολογιστών και τη φυσική. Εναλλακτικοί ορισμοί είναι ο γενικευμένος Δαρβινισμός (generalized Darwinism), θεωρία οικουμενικής επιλογής (universal selection theory) [116] καθώς και δαρβινική μετά-φυσική (Darwinian metaphysics). [117]

Ο βασικός μηχανισμός, τον οποίο πρότεινε ο Δαρβίνος, μέσω του οποίου γίνεται η εξέλιξη, στηρίζεται στις διαδικασίες της παραλλαγής (variation), επιλογής (selection) και κληρονομικότητας (heredity).⁵³ Ο Οικουμενικός Δαρβινισμός παίρνει ως βάση τις διαδικασίες αυτές για να ερμηνεύσει τα προς μελέτη φαινόμενα. Οι οντότητες εμφανίζουν παραλλαγές μεταξύ τους, κυρίως μέσω της μετάλλαξης και των ανασυνδυασμών. Οι παραλλαγές οι οποίες βοηθούν τις οντότητες να προσαρμοστούν και να επικρατήσουν καλύτερα στο ανταγωνιστικό περιβάλλον τους είναι αυτές οι οποίες επιλέγονται και εν τέλει κληρονομούνται στις επόμενες γενιές οντοτήτων.

Σε όλα τα πεδία εφαρμογής οι οντότητες αυτές φωτογραφίζονται από κάποιο πρότυπο (pattern), στο οποίο κωδικοποιείται η πληροφορία την οποία φέρουν.⁵⁴ Αυτό που υποκρύπτεται σε όλες τις περιπτώσεις είναι ένα pattern, είτε πρόκειται για τις δομές που διαμορφώνουν κάποια βιολογικά χαρακτηριστικά (φαινότυπος) που προκύπτουν από κάποιες ακολουθίες νουκλεοτιδίων, το DNA δηλαδή (γονότυπος), είτε πρόκειται για μουσικές, γλωσσικές, κοινωνικές δομές, που προκύπτουν από ακολουθίες ηχημάτων, φωνημάτων ή ατόμων – ομάδων, είτε για φυσικές δομές, όπως η μορφή των κρυστάλλων, η γεωμετρία των πλανητικών συστημάτων, όπως προκύπτουν από τις χημικές ενώσεις και τις σχέσεις των πλανητών,. Αυτά τα patterns είναι φορείς πληροφορίας και χαρακτηριστικών (εκφρασμένα ενεργειακά ή και υλικά). Όσα από αυτά τα patterns έχουν δώσει ένα πλεονέκτημα στη διαδικασία της επιλογής, φυσικής ή οικουμενικής και είναι αυτά τα οποία κυριάρχησαν σε σχέση με τα ελαττωματικά και παρέμειναν μέσω της κληρονομικότητας.

Αυτή είναι μία δυναμική διαδικασία, η οποία μεθοδολογικά είναι πολύ κοντινή στην προσπάθεια και σφάλμα (trial and error). Από πολλαπλές δοκιμές κάποιες κερδίζουν, δίνουν πλεονέκτημα επιλογής και κυριαρχούν, και κάποιες χάνουν, διαμορφώνουν ελαττωματικές οντότητες και εξαφανίζονται. Παραδείγματα τέτοιων patterns, τα οποία υπόκεινται στους παραπάνω μηχανισμούς είναι τα γονίδια, τα πολιτισμικά προϊόντα

⁵³ Η παραλλαγή, ως τάση για αλλαγή του ορίου, είναι παράγωγο της επικοινωνίας, η κληρονομικότητα, ως τάση διατήρησης, της αυτοσυντήρησης, ενώ η επιλογή είναι συνδυαστικό παράγωγο, για να γίνει η επιλογή πρέπει να υπάρξει επικοινωνία, με σκοπό όμως την αυτοσυντήρηση.

⁵⁴ Η δομή ενός pattern αποτελεί μία οργάνωση ενός χώρου, είναι ένα «γεωμετρικό» κατασκεύασμα, το οποίο αποτελεί το πεδίο μέσω του οποίου θα συμβούν οι δράσεις. Με άλλα λόγια, αποτελεί την έκφραση της οντοφορίας στο δομικό σκελετό των οντοτήτων.

(μιμίδια), τα τεχνολογικά προϊόντα, οι συνδέσεις των νευρώνων, οι νόμοι, οι κβαντικές καταστάσεις, ακόμα και ολόκληρα σύμπαντα. [118]

Ο όρος «Οικουμενικός Δαρβινισμός» προτάθηκε από τον Richard Dawkins το 1983, ο οποίος υποστήριζε ότι οποιαδήποτε εκδοχή εξωγήινης ζωής υπόκειται και αυτή σε εξελικτικές διαδικασίες μέσω κάποιας φυσικής επιλογής, όπως γίνεται και στη Γη. [119] Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε περαιτέρω σε εργασία, η οποία δημοσιεύτηκε την ίδια χρονιά με τίτλο «Δαρβινική Δυναμική» (The Darwinian Dynamic), στην οποία διατυπώθηκε η σκέψη ότι η δυναμική η οποία περιγράφει την εξέλιξη των έμβιων συστημάτων είναι ίδια με αυτή των μη έμβιων, φυσικών συστημάτων. [120]

Η ιδέα της γενικευμένης χρήσης του Δαρβινισμού υπήρχε πολύ πριν να προταθεί ο όρος «Οικουμενικός Δαρβινισμός». Ο ίδιος ο Δαρβίνος και άλλοι διανοητές του 19^{ου} αι., προσπάθησαν να εφαρμόσουν την ιδέα της επιλογής και σε άλλους τομείς, όπως η γλώσσα, η κοινωνία και ο πολιτισμός. [116] Η αναβίωση αυτής της προσπάθειας έγινε τη δεκαετία του 1950 από τον Donald T. Campbell ο οποίος εισήγαγε το πεδίο της εξελικτικής επιστημολογίας και ερεύνησε τις διαδικασίες της παραλλαγής και επιλογής σε τομείς της ανθρώπινης επιστημονικής διάνοιας, σε ιδέες και θεωρίες δηλαδή [121]. Αργότερα γίνεται η σύνδεση μεταξύ του Οικουμενικού Δαρβινισμού του Dawkins και της εξελικτικής επιστημολογίας του Campbell. [122]

Στις μέρες μας η ιδέα του Οικουμενικού Δαρβινισμού αξιοποιείται από μία πληθώρα πεδίων πέρα από τη βιολογία, τη κβαντική φυσική και τη χημεία μέχρι τον πολιτισμό και την αστρονομία. Ιδιαίτερως σημαντική είναι η προσφορά του Kelley, ο οποίος σε πρόσφατο βιβλίο του αναζητά την καταγωγή των πάντων μέσω της φυσικής επιλογής («The Origin of Everything via Natural Selection, or the Preservation of Favored Systems in Contention for Existence»). Με αφετηρία τη δαρβινική διατύπωση της επιβίωσης του ισχυρότερου (fittest) είδους, ο Kelley αναζητά παραδείγματα επιβίωσης του ισχυρότερου συστήματος ή φαινομένου (όχι μόνο όντος – ατόμου δηλαδή), προχωρώντας σε μία ενοποιητική θεωρία. [123]

Ίσως η πιο συγκροτημένη απόπειρα διεύρυνσης της δαρβινικής διαδικασίας, σε τομείς πέραν της βιολογίας, έγινε από το φιλόσοφο του νου, Daniel Dennett, στο βιβλίο του «Darwin's Dangerous Idea». [124] Ο συγγραφέας παρομοιάζει την ιδέα της φυσικής επιλογής σαν ένα «οικουμενικό οξύ» το οποίο δεν μπορεί να παραμείνει απομονωμένο σε κανένα δοχείο, αφού τρυπάει τα τοιχώματα και έρχεται σε επαφή, μετασχηματίζοντας, περισσότερα πεδία, ειδικά αυτά των κοινωνικών επιστημών. Σε αντιστοιχία με τις προσεγγίσεις του Dennett έχουν γίνει πολλές απόπειρες σύνδεσης των κοινωνικών επιστημών με τον Δαρβινισμό, όπως η μιμιδιακή επιστήμη, η εξελικτική οικονομία, η εξελικτική ψυχολογία, η εξελικτική ανθρωπολογία και η εξελικτική γλωσσολογία. [125] Αντίστοιχα εγχειρήματα υπάρχουν και στον κόσμο των φυσικών επιστημών, όπως ο κβαντικός δαρβινισμός [126] και η κοσμολογική φυσική επιλογή [127].

Το 1976 ο εξελικτικός βιολόγος Richard Dawkins εξέδωσε ίσως το πιο σημαντικό έργο του, το «Εγωιστικό Γονίδιο». [128] Χωρίς να αμφισβητεί τις βασικές αρχές της δαρβινικής θεωρίας της εξέλιξης των ειδών πρότεινε μία νέα αντίληψη. Η συμβολή του ήταν ότι η εξέλιξη και η φυσική επιλογή αφορούν τα γονίδια και όχι τα άτομα. Τα γονίδια θεωρούνται ως η κωδικοποιημένη πληροφορία την οποία φέρει το DNA. Εγγενής σκοπός των γονιδίων είναι η επιβίωση και η δημιουργία απογόνων. Αυτές οι βασικές

ιδιότητες είναι εκείνες, οι οποίες ορίζουν τους όρους λειτουργίας της φυσικής επιλογής, διαμορφώνουν τις συνθήκες «ανταγωνισμού» και έχουν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη. Αυτοί οι όροι έχουν μία καθολικότητα στο σύμπαν. Πρόκειται για τον Οικουμενικό Δαρβινισμό όπως αναφέρθηκε προηγουμένα.

Ποιο είναι λοιπόν εκείνο το στοιχείο το οποίο κάνει τα γονίδια να είναι τα μέσα της βιολογικής εξέλιξης και οι διαμορφωτές της «ζωής»; Κατά τον Dawkins είναι η δυνατότητά τους να αυτοαντιγράφονται.⁵⁵ Να φτιάχνουν αντίγραφα του εαυτού τους δηλαδή και μάλιστα με εξαιρετική πιστότητα. Η Δαρβινική Εξέλιξη λοιπόν αφορά όλα τα γνωστά συστήματα, στηρίζεται στην ύπαρξη αντιγραφών και περιγράφεται με βάση τρεις γενικές διαδικασίες που είναι η αντιγραφή, η μετάλλαξη και η επιλογή. Στο τελευταίο κεφάλαιο του προαναφερθέντος βιβλίου του Dawkins, ο συγγραφέας χρησιμοποίησε ένα παράδειγμα για να αναδείξει αυτό ακριβώς το σκεπτικό, ότι το γονίδιο δηλαδή είναι απλώς η μονάδα επιλογής στο φαινόμενο «ζωή». Σε κάθε σύστημα, κάθε μονάδα επιλογής έχει το ρόλο που έχουν τα γονίδια για τη ζωή, με την προϋπόθεση του να εξασφαλισθεί η δυνατότητα πιστών αντιγραφών. Ενώ ο άνθρωπος ως κομμάτι του ζωικού βασιλείου διέπεται από τις ίδιες αρχές όπως και όλα τα υπόλοιπα ζώα, αυτό που τον διαχωρίζει είναι η ανάπτυξη πολιτισμού. Πέρα λοιπόν από βιολογικό ον, ο άνθρωπος είναι το πιο πολύπλοκο, σύνθετο και αποδοτικό κοινωνικό / πολιτισμικό όν. Το παράδειγμα που χρησιμοποίησε για να διευρύνει την ιδέα των αντιγραφόμενων μονάδων πέρα από τα γονίδια είναι οι πολιτισμικοί αντιγραφείς. Τους πολιτισμικούς αντιγραφείς τους ονόμασε «μιμίδια» (memes), ένα λογοπαίγνιο που ηχητικά θυμίζει τα γονίδια (genes) και αναδεικνύει ότι το μέσο για την αντιγραφή είναι η μίμηση (mimesis).

Ως μιμίδιο μπορεί να θεωρηθεί οποιαδήποτε έκφραση του ανθρώπινου πολιτισμού. Μπορεί να είναι η γλώσσα, η θρησκεία, η μουσική, οι μύθοι, τα παραμύθια, η μόδα, οι κανόνες συμπεριφοράς, τα ήθη, τα έθιμα, το εκπαιδευτικό σύστημα, το πολίτευμα, οι τρόποι κοινωνικής οργάνωσης, η κατάτμηση των γνωστικών αντικειμένων, η διαμόρφωση των επαγγελμάτων κ.α. Κάθε μία από αυτές τις εκφάνσεις είναι κομμάτι ενός επικοινωνιακού δικτύου που έχει διαμορφώσει ο άνθρωπος.

Η μελέτη καθενός από αυτά τα φαινόμενα σε ένα χρονικό στιγμιότυπο δείχνει μία εικόνα γι' αυτά. Η εικόνα αυτή όμως προέκυψε από μία εξελικτική διαδικασία, παρεμφερή με τη βιολογική. Κάποια χαρακτηριστικά τροποποιήθηκαν και «προτάθηκαν προς αποδοχή». Τα ισχυρότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά επιβίωσαν μέσω μίας διαδικασίας επιλογής και υιοθετήθηκαν. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η εμφάνιση της κωδικοποιημένης πληροφορίας, όπως αυτή μεταφέρεται στις πολιτισμικές μονάδες οι οποίες τίθενται προς αντιγραφή. Οι πολιτισμικές αυτές μονάδες είναι τα λεγόμενα «μιμίδια». Ο τρόπος αντιγραφής τους είναι η μίμηση. Τα στοιχεία τα οποία κάνουν αυτούς τους πολιτισμικούς αντιγραφείς ισχυρούς, είναι αντίστοιχα με αυτά των βιολογικών αντιγραφών, τα γονίδια, η πιστότητα, η μακροβιότητα, και η γονιμότητα (fidelity, longevity, fecundity). [128]

Ενώ η λογική, η οποία διέπει τη μελέτη των βιολογικών και πολιτισμικών φαινομένων μέσα από την εξέλιξη και τη φυσική επιλογή των πιο ισχυρών αντιγραφών, είναι η ίδια, σ' αυτό το σημείο παρατηρείται μία κομβική διαφορά. Οι βιολογικοί αντιγραφείς, τα

⁵⁵ Η δυνατότητα της αυτοαντιγραφής είναι αυτοσυντηρητική διαδικασία.

γονίδια, μεταφέρονται κάθετα, από γενιά σε γενιά, ενώ οι πολιτισμικοί αντιγραφείς, τα μιμίδια κινούνται οριζόντια, μέσα στην ίδια γενιά. Αν θέλουμε να επεκτείνουμε την αναλογία με τη βιολογία προσομοιάζει περισσότερο, με την εξάπλωση μιας ασθένειας.

Με βάση τη δικιά μας οντολογική πρόταση, τα μιμίδια έχουν τον χαρακτήρα της βασικής μορφολογικής μονάδας των παραγώγων του οντοφορικού ορίου της ανθρωπότητας.

Η μουσική, ως ένα από τα πιο ουσιαστικά, οικουμενικά, διαχρονικά, πολιτισμικά φαινόμενα, είναι ένα κατεξοχήν πεδίο, στο οποίο η μιμιδιακή επιστήμη βρίσκει εφαρμογή. «Αν κάποιος αποδέχεται την εγκυρότητα του μιμιδιακού παραδείγματος, ότι δηλαδή ο ανθρώπινος πολιτισμός είναι μία οικολογία από ανεξάρτητες συγκροτημένες μονάδες οι οποίες μεγιστοποιούν την πιθανότητα επιβιώσής τους όταν μεγιστοποιούν την τάση τους στο να γίνουν φορείς μίμησης, τότε είναι λογικό να αποπειραθείς να το εφαρμόσεις και στη μουσική. Η μουσική είναι άλλωστε μία ροή ηχητικής πληροφορίας η οποία στην παραγωγή και στην πρόσληψή της είναι τεμαχισμένη σε διακριτές μονάδες». [129]

Ίσως η πιο συγκροτημένη εφαρμογή της μιμιδιακής θεωρίας στη μουσική έχει γίνει από τον Steven Jan. Στην εργασία του «Replicating Sonorities: Towards a Memetics of Music» [130] επιχειρεί να εισάγει ένα νέο συστηματικό ερμηνευτικό παράδειγμα, συνδέοντας την αναλυτική μουσικολογία με μία νέο-Δαρβινική οπτική. Πρόθεσή του είναι η μελέτη τόσο «τοπικών» ζητημάτων της μουσικής δομής και οργάνωσης ενός έργου, όσο και «υπερτοπικών», της διαμόρφωσης δηλαδή ενός μουσικού στυλ και των αλλαγών που υφίσταται στη διαχρονία του. Για τον ορισμό του μουσικού μιμιδίου προσεγγίζει την ιεραρχική τοποθέτηση, τόσο σε επίπεδο πολιτισμικών ιεραρχιών (την αντιγραφή προτύπων –replication of patterning- σε διαφορετικά στρώματα μέσα στο πολιτιστικό πλαίσιο) όσο και σε επίπεδο δομικών ιεραρχιών (την αντιγραφή προτύπων σε διαφορετικά στρώματα μέσα στο μουσικό έργο). Για το πρώτο φαινόμενο αξιοποιεί τις προσεγγίσεις του Leonard Meyer, ενώ για το δεύτερο του Heinrich Schenker. Αναφορικά με τη μουσική νοηματοδότηση των μιμιδίων χρησιμοποιεί τις σημειολογικές αρχές του Ferdinand de Saussure και του Jean-Jacques Nattiez. Στην εργασία αυτή θα στηριχτούμε για να περιγράψουμε την εφαρμογή του μιμιδιακού παραδείγματος στα μουσικά φαινόμενα.

Προϋπόθεση για την περιγραφή του μουσικού μιμιδίου είναι η περιγραφή των επιπέδων πάνω στα οποία εδράζεται κάθε μουσική δημιουργία, τα ιεραρχικά στρώματα.⁵⁶ Η ιεραρχική πυραμίδα, όπως έχει περιγραφεί από τον Nattiez και Meyer έχει ως εξής (οι

⁵⁶ Η ύπαρξη ιεραρχικών στρωμάτων είναι παράγωγο των όσων ορίζουν η αυτοσυντήρηση και η επικοινωνία. Για να μπορέσει να αλληλοεπιδράσει κάθε συνθέτης, μέσω των μουσικών του έργων, πρέπει να προβαίνει σε καινοτομίες και να δανείζεται στοιχεία τα οποία να προσαρμόζει στο δικό του έργο. Επομένως, προκύπτουν στρώματα διαφοροποίησης, τα οποία διαμορφώνουν την ιεραρχική κατάταξη. Η διαμόρφωση αυτή είναι λόγω της επιβεβλημένης, από την επικοινωνία, τάσης για αλλαγή των ορίων. Η ύπαρξη όμως κατάταξης σε ομάδες είναι, ντε φάκτο, αποτέλεσμα της αυτοσυντήρησης, αφού τα κοινά χαρακτηριστικά, λόγω των οποίων ομαδοποιούνται οντότητες, προκύπτουν από την τάση για διατήρηση των ορίων, την αυτοσυντήρηση.

κανονικοί χαρακτήρες αποδίδονται στον Nattiez [131], ενώ οι πλάγιοι (italics) στον Meyer [132]):

Universals of Music / *Laws*
System (Style) of Reference / *Rules*
Style of a Genre or an Epoch / *Dialect*
Style of Composer X / *Idiom*
Style of a Period in the Life of Composer X
Style of a Work from this Period by Composer X / *Intraopus Style*.

Η σύνδεση της μιμιακής επιστήμης με τα ιεραρχικά στρώματα είναι εφικτή λόγω της κοινής αντίληψης της έννοιας της αντιγραφής. Ο Meyer ορίζει το στυλ άλλωστε ως μία αντιγραφή προτύπων, τόσο της ανθρώπινης συμπεριφοράς όσο και των παραγώγων της, η οποία είναι αποτέλεσμα επιλογών οι οποίες γίνονται εν μέσω περιορισμών. [132] Αυτή η αντιγραφή προτύπων λαμβάνει χώρα σε κάθε επιμέρους επίπεδο της παραπάνω πυραμίδας. Η αντιγραφή των προτύπων αυτών δίνει σε κάθε έργο συνοχή (intra opus style). Όταν μιλάμε για συνθετικό ύφος, ή συγκεκριμένη μουσική γλώσσα ενός δημιουργού, εννοούμε αυτό ακριβώς, ότι ο συνθέτης έχει ένα συγκεκριμένο μουσικό αλφάβητο, το οποίο το χρησιμοποιεί με παρεμφερή τρόπο. Πρόκειται ακριβώς για την αναπαραγωγή κοινών προτύπων τα οποία μπορούν να αναγνωριστούν και να λειτουργήσουν ταυτοτικά για το δημιουργό.

Με την ίδια λογική προχωρούμε και σε χαμηλότερα επίπεδα που αφορούν μία μουσική διάλεκτο, είτε πρόκειται για χρόνο (κλασικισμός, μπαρόκ κ.λπ.), είτε για χώρο (Γερμανία, Ιταλία κ.λπ.). Το επίπεδο «System (style) of Reference / Rules» αφορά τους πιο πρωταρχικούς συνθετικούς κανόνες, που είναι οι βασικές μεθοδολογικές πηγές, τις οποίες χρησιμοποιεί ο συνθέτης. Τέτοιο παράδειγμα είναι η χρήση του μείζονα ή ελάσσονα τρόπου, η χρήση ενός τροπικού συστήματος, π.χ. Λύδιος, Φρύγιος κ.λπ.

Το χαμηλότερο επίπεδο, το θεμέλιο, είναι αυτό πάνω στο οποίο χτίστηκε η έννοια της μουσικής με έναν αρχετυπικό και ανυπέβλητο τρόπο, όπως για παράδειγμα η έκταση της ανθρώπινης φωνής. Αφορά παραβίαστους κανόνες που εμπίπτουν ακόμα και σε ζητήματα ψυχοακουστικής, όπως η διακριτική εικόνα στο ακουστικό εύρος συχνοτήτων, ο μέγιστος και ελάχιστος ρυθμός διαδοχής ηχημάτων κ.λπ..

Εξ ορισμού, τα μιμείδια είναι πολιτισμικές μονάδες πληροφορίας οι οποίες αντιγράφονται μέσω μιμητικών διαδικασιών. Επομένως, σύμφωνα με τον Jan, τα μιμείδια εν γένει, μα πιο συγκεκριμένα τα μουσικά, πρέπει να έχουν εγγενώς δύο χαρακτηριστικά, να είναι σωματιδιακά (particulateness) και να αποτελούν κομμάτι από μία ομάδα «συνισοδύναμων» (co-equality). [130]

Η μουσική είναι μία συνεχής ροή πληροφορίας. Ανεξάρτητα από το αν ένα μουσικό έργο χωρίζεται σε επί μέρους μέρη ή ενότητες, είναι ένα όλον με ενοποιητικά στοιχεία. Όμως είπαμε ότι τα μιμείδια είναι μονάδες πολιτισμικής πληροφορίας. Τι συνιστά λοιπόν μιμίδιο; Είναι όλο το έργο, ένα μέρος ή ενότητα του έργου ή κάτι διαφορετικό; Ο ίδιος ο εισηγητής της μιμιακής επιστήμης αναρωτιέται στην περίπτωση της μουσικής: «Έχω αναφέρει ότι ένας τόνος είναι ένα μιμίδιο, αλλά τι συμβαίνει στην περίπτωση μιας συμφωνίας; Πόσα μιμείδια είναι αυτή; Είναι κάθε μέρος ένα μιμίδιο; Κάθε αναγνωρίσιμη μελωδική φράση; Κάθε μέτρο; Κάθε συγχορδία; Τι τέλος πάντων;» [128] Και με ποια

κριτήρια γίνεται ο τεμαχισμός ενός έργου σε μιμίδια; Έχουμε αναφέρει ότι το μιμίδιο, ως πολιτισμικό τεμάχιο, είναι ένας αντιγραφέας μέσα στον οποίο κωδικοποιείται μια πληροφορία και λειτουργεί ως το όχημα προς μίμηση. Για να μπορεί ένα απόσπασμα από ένα μουσικό υλικό να θεωρηθεί μιμίδιο, πρέπει λοιπόν να έχει τέτοιο πληροφοριακό περιεχόμενο, ώστε να εξασφαλίζεται η διακριτότητά του.⁵⁷ Πρέπει, δηλαδή, συγκρινόμενο με άλλο να διαφοροποιείται. Δεν αρκεί όμως να έχει ένα βαθμό καινοτομίας. Πρέπει η πληροφορία η οποία φέρει να είναι συγκροτημένη και σαφής και δεν αρκεί να είναι απλώς μία διαδοχή από ήχους, πρέπει να πρεσβεύει κάτι, να έχει έναν ρόλο στο μουσικό γίγνεσθαι.⁵⁸ Για το βιολογικό αντιγράφεα, το γονίδιο, ο Dawkins λέει ότι είναι «κάθε τμήμα ενός χρωμοσωμικού υλικού το οποίο δυνητικά θα διαρκέσει αρκετές γενιές, ώστε να μπορεί να λειτουργήσει ως μονάδα της φυσικής επιλογής... μία γενετική μονάδα η οποία είναι αρκετά μικρή για να διαρκέσει αρκετές γενιές και να διαδοθεί μέσω πολλών αντιγράφων... μία μονάδα η οποία σε ένα βαθμό προσεγγίζει την ιδανική περίπτωση ενός ατεμάχιστου σωματιδίου». [128]

Για την περίπτωση του βιολογικού αντιγράφεα διαπιστώνεται ότι όσο πιο σύνθετος και περίπλοκος είναι, τόσο αδυνατίζει η ισχύς του σχετικά με το πόσο ισχυρός αντιγραφέας είναι και περιορίζει τις πιθανότητες επιβίωσής του στη διαδικασία της φυσικής επιλογής. Αντίστοιχα και στη μουσική μπορεί κανείς να υποθέσει ότι όσο πιο συγκροτημένο είναι ένα μιμίδιο τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να διαμορφώσει έναν ισχυρό αντιγράφεα. Στην πραγματικότητα όμως, το μικρό μέγεθος ενός μιμιδίου του στερεί τη δυνατότητα να φέρει μία συγκροτημένη, κωδικοποιημένη συμπαγή πληροφορία, η οποία να μπορεί να απομνημονευτεί και να τεθεί προς μίμηση. Όπως αναφέρει ο Dennett: «Τα μιμίδια, αυτοί οι νέοι αντιγραφείς, είναι τύποι πολύπλοκων ιδεών οι οποίες σχηματίζονται σε διακριτές μονάδες προς απομνημόνευση... Ενστικτωδώς, τις βλέπουμε λίγο έως πολύ σαν απροσδιόριστες πολιτισμικές μονάδες, αλλά δεν μπορούμε να πούμε κάτι πιο ακριβές για το πια είναι τα σύνορά τους. Δηλαδή γιατί οι νότες D-F#-Αδεν είναι μία τέτοια μονάδα, ενώ το θέμα από το αργό μέρος της έβδομης συμφωνίας του Μπετόβεν είναι. Οι μονάδες είναι τα μικρότερα στοιχεία τα οποία δημιουργούν αντίγραφα του εαυτού τους με αξιοπιστία και γονιμότητα. Με αυτό το σκεπτικό, δεν μπορούμε να τα συγκρίνουμε με τα γονίδια και τα συστατικά τους: C-G-A, ένα μικρό τμήμα από DNA, είναι υπερβολικά μικρό για να είναι γονίδιο. Είναι ένας από τους κωδικούς για το αμινοξύ «αργινίνη» και φτιάχνει θαυμάσια αντίγραφα του εαυτού του κάθε φορά που εμφανίζεται στο γονιδίωμα, όμως οι επιδράσεις του δεν είναι αρκετά «αυτόνομες» για να θεωρηθεί ως γονίδιο. Μία φράση τριών νουκλεοτιδίων δε συνιστά γονίδιο για τον ίδιο λόγο που τρεις νότες δε συνιστούν μουσική φράση, είναι ανεπαρκείς για να φτιάξουν μία μελωδία». [124] Όμως, κατά τον ίδιον, η γνωστή εισαγωγή από τη 5^η συμφωνία του Μπετόβεν, η οποία είναι μόλις τέσσερις νότες (G-G-G-Eb) είναι σαφώς μιμίδιο, καθότι αντιγράφονται αυτοτελώς, ανεξάρτητα από την υπόλοιπη συμφωνία, και διατηρούν ανέπαφη την ταυτότητά τους, ενώ παράλληλα επιδρούν θριαμβικά ακόμα και σε έργα που ξεπερνούν κατά πολύ το ιδίωμα του Μπετόβεν. Συμπερασματικά, για να θεωρηθεί ένα απόσπασμα ως μιμίδιο πρέπει να έχει κατάλληλο μέγεθος ώστε να μην είναι υπερβολικά πολύπλοκο και να μπορεί να

⁵⁷ Με άλλα λόγια, να υπακούει και αυτό στον ορισμό «έχει όρια άρα υπάρχει». Η διακριτότητα έχει ως προϋπόθεση την ύπαρξη ορίων.

⁵⁸ Να μπορεί να παράξει οντοφορικές δράσεις.

αποθηκευτεί χωρίς να απειλείται η πιστότητα των αντιγράφων του. Πρέπει να είναι, με άλλα λόγια, αξιομνημόνευτο και να έχει τα χαρακτηριστικά ενός καλού αντιγραφέα. Παρόλο όμως που πρέπει το μήκος του να είναι μικρό, πρέπει παράλληλα να είναι ικανά μεγάλο ώστε να μπορεί να γίνει φορέας συγκροτημένης, αυτόνομης, συμπαγούς και αναγνωρίσιμης πληροφορίας.⁵⁹

Αναφέραμε προηγουμένως ότι η μουσική είναι μία πολύπλοκη ύφανση πολλαπλών στοιχείων και μια πολυγραμμικότητα επιμέρους επιπέδων, το λεγόμενο δηλαδή «σημειολογικό πεντάγραμμα» της μουσικής (μελωδία, αρμονία, ρυθμός, αγωγική, δυναμική). Η αναζήτηση των μουσικών μιμίδιων αφορά το κάθε επίπεδο ξεχωριστά. Αναλυτική παρουσίαση αυτής της ξεχωριστής αναζήτησης παρουσιάζεται στα [129], [130]

Αναφορικά με το μέγεθος των μουσικών μιμίδιων, ο Jan [130] παρατηρεί ότι ένα μη μουσικό μιμίδιο επηρεάζει καταλυτικά την «ποσότητα» του μουσικού υλικού, το οποίο μπαίνει σε καθεστώς μίμησης. Πρόκειται για το μιμίδιο ενάντια στη «λογοκλοπή», το οποίο είναι ισχυρό σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, ειδικά από τον διαφωτισμό και έπειτα, οπότε και αρχίζει και εδραιώνεται η αντίληψη της ατομικής και επώνυμης δημιουργίας. Επομένως, ακόμα και αν ένα απόσπασμα από ένα έργο πληροί τα κριτήρια μεγέθους, πολυπλοκότητας και πληροφοριακού περιεχομένου, για να θεωρηθεί αυτοτελές μιμίδιο, ο φραγμός ο οποίος βάζει το «ανήθικο» ενάντια στην κλοπή πνευματικών δικαιωμάτων, αποτρέπει τους συνθέτες από το να αξιοποιήσουν ολόκληρο το δομικό πρότυπο του μακροσκελούς μιμιδίου.⁶⁰

Σε κάθε περίπτωση, ανεξάρτητα από το μήκος, η διακριτότητα και η «ημι-αυτονομία» ενός μουσικού αποσπάσματος είναι κομβικό ζητούμενο για τη θεώρησή του ως μιμίδιο. Όπως αναφέρουν άλλωστε οι Bent και Drabkin, αναφορικά με τη θεώρηση ενός μουσικού υλικού ως μιμίδιο, πρέπει να μπορείς «να σπάσεις μία μουσική ακολουθία σε μονάδες από συνιστώσες (component units), δηλαδή, σε μονάδες οι οποίες δεν μπορούν, ή δε χρειάζεται να διαιρεθούν περαιτέρω, επειδή οι υπο-μονάδες τους ποτέ δε συμβαίνουν αυτόνομα.» [133]

Για τη θεώρηση ενός μουσικού αποσπάσματος ως μιμίδιο δεν αρκεί απλώς η διακριτότητά του σε σχέση με τα υπόλοιπα (particlateness). Στις μουσικές μονάδες, οι οποίες μπορούν με ένα αυτόνομο τρόπο να αποθηκευτούν στη μνήμη του ανθρώπινου εγκεφάλου ο Lynch έθεσε τον όρο «μνημίδιο» (mnemon). [134] Άπαξ και η πληροφοριακή αυτή μονάδα μπει σε καθεστώς μίμησης, αντιγραφόμενη από εγκέφαλο σε εγκέφαλο, τότε μεταπηδά από mnemon σε μιμίδιο.⁶¹ Με άλλα λόγια, για να θεωρηθεί ένα μουσικό απόσπασμα ως μιμίδιο πρέπει να μπορεί να εντοπισθεί στα αντίγραφα του, πρέπει να μπορεί να ταυτοποιηθεί ως ένα από πολλά ισοδύναμα, είτε ταυτόσημα είτε σε παραλλαγή. Είναι αυτό το οποίο ονομάζει ο Jan ως «συν-ισοδυναμία» (Coequality). [130]

⁵⁹ Είναι στο μέσο της διεκυστίνδας μεταξύ αυτοσυντήρησης και επικοινωνίας.

⁶⁰ Το μιμίδιο ενάντια στη λογοκλοπή έχει επικοινωνιακές επιδράσεις, αφού αναγκάζει τους άλλους συνθέτες να παραλλάσουν το καταγεγραμμένο υλικό, είναι όμως παράγωγο της αυτοσυντήρησης του έργου του συνθέτη.

⁶¹ Το μνημίδιο είναι το μιμίδιο με επικοινωνιακές δράσεις.

Η ιδέα της αντιγραφής στηρίζεται εγγενώς στην ύπαρξη πολλαπλών ισοδύναμων μονάδων των οποίων η σύγκριση αποκαλύπτει ότι πρόκειται για την αναπαραγωγή, αυτούσια ή παραλλαγμένη, ενός συγκεκριμένου προτύπου. Μάλιστα, στη θεώρηση του Οικουμενικού Δαρβινισμού, για να μπορέσουν να επιβιώσουν στη διαδικασία της επιλογής και να θεωρηθούν ισχυροί, οι αντιγραφείς «πασχίζουν» να δημιουργήσουν όσο το δυνατόν περισσότερα αντίγραφα τους.⁶²

Αντίστοιχα λοιπόν, μία εδραιωμένη μουσική ιδέα, η οποία θεωρείται ως αναμενόμενη συνθετική πρακτική, γνώριμη τόσο για τον ακροατή όσο και για το συνθέτη, με έναν αυτοματοποιημένο τρόπο, οικείο δηλαδή, είναι αυτή η οποία εμφανίζεται συστηματικά. Για παράδειγμα, το πρότυπο της πτώσης – προδεσπόζουσα (συνήθως ii ή IV βαθμίδα), δεσπόζουσα, τονική – είναι ένα μιμίδιο μ' έναν τεράστιο αριθμό αντιγράφων. Μάλιστα, απαντάται σε όλα τα είδη της (δυτικής) μουσικής, προσαρμοσμένο στο στυλ του κομματιού στο οποίο εντάσσεται. Τα αρχετυπικά δομικά στοιχεία όμως παραμένουν τα ίδια, τόσο σε επίπεδο αρμονικής διαδοχής, όσο και σε επίπεδο μελωδικής εξέλιξης.

Επειδή η μουσική είναι και αυτή ένα φαινόμενο το οποίο βασίζεται σε εξελικτικά μοντέλα, με κάποια στοιχεία να επιβιώνουν και άλλα να απορρίπτονται κατά τη διαδικασία της πολιτισμικής επιλογής, αυτά τα οποία επιβιώνουν μπορούν να εντοπισθούν σε όλα τα επίπεδα των πολιτισμικών ιεραρχιών. Έτσι άλλωστε ερμηνεύεται η ίδια η εξέλιξη της μουσικής, μέσω μιας συνεχούς διελκυστίδας, μεταξύ της αμφισβήτησης του ίδιου του εαυτού της, της ανατροπής, της απόρριψης του γνώριμου, του απρόσμενου, της υιοθέτησης νέων στοιχείων, και του στηρίγματος του οικείου, του γνώριμου, του συμπαγούς εδραιωμένου στοιχείου. Όπως σημειώνει όμως ο Jan, ο εμφανής εντοπισμός τους είναι στο επίπεδο του *intraopus*, μέσα στο έργο δηλαδή. [130] Ο λόγος είναι ότι στο ανώτερο ιεραρχικά στρώμα της πολιτισμικής ιεραρχίας, δηλαδή σε μία συγκεκριμένη συνθετική περίοδο ενός δημιουργού, οι συνθετικές επιλογές είναι παρεμφερείς και υπακούν σε μία κοινή γλώσσα, με παρεμφερή εργαλεία διαμόρφωσης και διαχείρισης του συνθετικού υλικού. Επομένως, τα μουσικά «θραύσματα» τα οποία δημιουργούνται μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους. Με άλλα λόγια, μπορούμε να πούμε ότι τα μιμίδια τα οποία ενυπάρχουν στο *intraopus* επίπεδο έχουν μεγάλο βαθμό συνισοδυναμίας, είναι φανερά κοντινά, συγκροτούν αδιαμφισβήτητα «*coequals*».

Αναπαραγωγές προτύπων όμως παρατηρούμε και σε κατώτερα ιεραρχικά στρώματα, επομένως είναι δόκιμο να αναφερθούμε σε μιμίδια τα οποία εδράζονται στα επίπεδα των νόμων (Laws) και των κανόνων (Rules). Η ιδέα αυτή υποστηρίζεται θεωρητικά και από τη μέθοδο της συρρικνωτικής ανάλυσης όπως την εισήγαγε ο Heinrich Schenker. Η μέθοδος ανάλυσης του υποστηρίζει ότι κάθε έργο τονικής μουσικής υπακούει σε μία κοινή, βαθύτερη δομή (Ursatz).⁶³ Πίστευε ότι πολλές συγχορδίες σε ένα μουσικό έργο δεν είναι πάντα σημαντικές και απλώς αποτελούν επεκτάσεις σημαντικότερων αρμονικών βημάτων. [135] Επεκτείνοντας αυτή την ιδέα και στο επίπεδο της μελωδίας διατύπωσε την άποψη ότι οι περισσότεροι φθόγγοι είναι απλώς τα σκαλοπάτια στις θεμελιακές γραμμικές πορείες της μελωδικής γραμμής, οι οποίες οδεύουν πάντα προς ένα στόχο. Έτσι λοιπόν, ανάλογα με τη δομική βαρύτητά τους, τα συστατικά της

⁶² Επικοινωνώ για να αυτοσυντηρηθώ.

⁶³ Το *Ursatz* θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η πρωταρχική συνθετική «οδηγία», επομένως έχει θεμελιώδη οντοφορική σημασία.

μουσικής ιεραρχούνται. Στην πορεία της εξερεύνησης της βαθύτερης δομής, σε κάθε βήμα, οι φθόγγοι με την μικρότερη σημασία αφαιρούνται. Πρόκειται για την τεχνική της συρρίκνωσης.⁶⁴ Έτσι λοιπόν, η πρόσοψη του έργου, αυτό το οποίο περιέχει τα αντιστικτικά «στολίδια» τα οποία γίνονται σε πρώτη φάση αντιληπτά, βρίσκεται στο πρώτο επίπεδο (Vordegund). Στο μεσαίο στρώμα (Mittelgrund), έχουν απαλειφθεί οι λεπτομέρειες της επιφάνειας και αρχίζουν να προσεγγίζονται τα βαθιά δομικά στοιχεία. Το τελευταίο επίπεδο πριν το *Ursatz* είναι το *Hintergrund* και περιέχει τον πυρήνα. Έτσι λοιπόν, ο εντοπισμός των μουσικών αποσπασμάτων τα οποία ενέχουν θέση μιμιδίου δεν εντοπίζονται μόνο στο πρώτο επίπεδο (Vordegund/Foreground), αλλά και στα κατώτερα ιεραρχικά (Mittelgrund/Middleground και Hintergrund/Background).

Ο Σένκερ πίστευε ότι ο ιστός πάνω στον οποίο υφαίνονταν ολόκληρο το έργο ήταν η συγχορδία της τονικής. Η συμπύκνωση αυτή καταλήγει σε μία πρωταρχική, βασική μορφή, το *Ursatz*. Δομικά μπορεί να χαρακτηριστεί από μία γραμμική κάθοδο προς την τονική της υψηλότερης φωνής, «εναρμονισμένη» με μία μπάσο φωνή η οποία παίζει τη θεμέλιο των βασικών βαθμίδων I-V-I. Αν αποδεχτούμε ως βάσιμη τη θεωρία της συρρικνωτικής ανάλυσης του Σένκερ, το *Ursatz* μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αρχετυπικό, δομικό πρότυπο, το οποίο συναντάται στα τονικά έργα. Με άλλα λόγια, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μιμίδιο στο ιεραρχικό επίπεδο του Νόμου.⁶⁵

Αναφερθήκαμε προηγουμένως στη διάκριση μεταξύ μιμιδίου και μιμιδίου. Ο μεγάλος βαθμός πολυπλοκότητας στο σύνθετο δίκτυο της ανθρώπινης επικοινωνίας (ειδικά των πολιτισμικών φαινομένων τα οποία έχουν αφηρημένο χαρακτήρα – απουσία σημαινομένου ή ταύτιση σημαίνοντος και σημαινομένου – σε αντίθεση με τη γλώσσα που όπως είπαμε η σχέση σημαίνοντος και σημαινομένου είναι σαφής) καθιστά την ταξινόμηση των μουσικών μονάδων σε αυτόνομα μιμίδια, ή σε μιμίδια εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση. Η βασική διερεύνηση αφορά το βαθμό ομοιότητας και συγγένειας των μονάδων αυτών μεταξύ τους. Τα *coequals* είναι σε συντριπτικό βαθμό μεταλλάξεις μιμιδίων με κοινούς προγόνους. Το σε ποιο σημείο η μετάλλαξη θεωρείται τόσο εκτεταμένη ώστε πλέον να μην πρόκειται απλώς για μία τροποποίηση, αλλά για αλλοίωση, είναι ερώτημα που δύσκολα απαντιέται. Επίσης, η σχέση προγόνου – απογόνου μεταξύ δύο συγγενικών μιμιδίων δεν εντοπίζεται εύκολα.

Η σχέση μεταξύ δύο πληροφοριακών μονάδων _αναφορικά με την ταξινόμησή τους ως μιμίδια, με άλλα λόγια η μελέτη του κατά πόσο τα μιμίδια υπόκεινται σε μιμητικές διαδικασίες και είναι κομμάτι ομάδας αντιγράφων (*coequals*), καθώς και ο βαθμός συγγένειάς τους, είναι αντίστοιχο με το επιστημολογικό πρόβλημα, στην επιστήμη του πολιτισμού όταν «στη διαδικασία της ταξινόμησης γίνεται προσπάθεια να εντοπισθεί το κατά πόσον πρόκειται για ομολογία (*homology*) [ομοιότητα λόγω άμεσης σχέσης απογόνου] ή αναλογία (*analogy*) [ομοιότητα λόγω τυχαίας συγκλίνοσας εξέλιξης]» [124]

⁶⁴ Στην τεχνική της συρρίκνωσης, επί της ουσίας, αφαιρούμε τις δομικές προσθήκες της επικοινωνίας και οδηγούμαστε προοπτικά στη μεγιστοποιημένη αυτοσυντηρητική δομή.

⁶⁵ Το *Ursatz* χαρακτηρίζεται από τη μεγιστοποίηση της αυτοσυντήρησης και την ελαχιστοποίηση της επικοινωνίας.

2.2.3 Μουσικά πρότυπα (patterns), σημεία και μιμίδια

Από τις αναφορές μας μέχρι τώρα στη μιμιδιακή επιστήμη και στη σημειολογία / σημειωτική, γίνεται σαφές ότι η στοχοθεσία καθώς και η μεθοδολογία των δύο αυτών προσεγγίσεων παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες. Επί της ουσίας πρόκειται για μία προσπάθεια τεμαχισμού ενός πολιτισμικού συνεχούς – με σημαντικότερες εφαρμογές στα πολιτισμικά φαινόμενα γλωσσικής δομής, δηλαδή στη γλώσσα και στη μουσική – και της μελέτης του ρόλου των μονάδων που προκύπτουν από τον τεμαχισμό αυτό. Μελετάται το δίκτυο που αναπτύσσουν μεταξύ τους και ο τρόπος αλληλεπίδρασής τους. Επιχειρείται να προσδιορισθεί η αξία τους ως αυτόνομες μονάδες, ο τρόπος με τον οποίο συνεργάζονται με άλλες για να συγκροτήσουν ως βασικά δομικά συστατικά ευρύτερες δομικές ενότητες, καθώς και η σχέση τους μέσα στην εκάστοτε ενότητα στην οποία εντοπίζονται. Είτε αναφερόμαστε σε σημεία, είτε σε μιμίδια, αυτό που υπονοείται είναι ένα πρότυπο (pattern) με δομική συγκρότηση, το οποίο φέρει πληροφοριακό περιεχόμενο. Μία σημαντική διαφορά τους είναι ότι ενώ η σημειολογία ασχολείται με τον τρόπο που νοηματοδοτείται μία δομή (μιλώντας με όρους σημειολογίας, ποια είναι η σημασιόμορφη έννοια και πώς συνδέεται με τη σημαίνουσα δομή), η μιμιδιακή επιστήμη ασχολείται με τον τρόπο με τον οποίο η δομή αυτή επιβιώνει στο ανταγωνιστικό περιβάλλον της πολιτισμικής επιλογής. Ενδεικτικά, ως μιμίδιο ορίζεται η μικρότερη πληροφοριακή μονάδα προς μεταβίβαση [128], ενώ ως σημείο ορίζεται η μικρότερη πληροφοριακή μονάδα η οποία νοηματοδοτείται [136]. Έτσι, η σημειωτική έχει αναπτύξει καλύτερα εργαλεία για τη μελέτη των φαινομένων στο χρονικό στιγμιότυπό τους, ενώ η μιμιδιακή επιστήμη μελετά αποτελεσματικότερα την εξέλιξή τους στο χρόνο, ούσα απότοκος της δαρβινικής βιολογικής εξέλιξης.⁶⁶

Στις μέρες μας επιχειρείται η διατύπωση μιας ενοποιητικής θεωρίας, η οποία μέσω των γονιδίων (μονάδες βιολογικής πληροφορίας), των σημείων (πληροφοριακές μονάδες νοήματος) και των μιμιδίων (πληροφοριακές μονάδες της πολιτισμικής διάδοσης), θα περιγράψει τους γνωσιακούς και συμπεριφορικούς μηχανισμούς των ανθρώπων. [137] Μάλιστα, η αξιοποίηση των πεδίων αυτών έρχεται να συμπληρώσει τις επιμέρους αδυναμίες τους. Η μιμιδιακή επιστήμη δεν έχει συγκροτηθεί ακόμα ως ένα ενιαίο πεδίο. Αντίθετα, ανάλογα με την αφετηρία και το υπόβαθρο των εκάστοτε ερευνητών επιδέχεται πολλαπλών προσεγγίσεων. Η βασική κριτική η οποία της ασκείται είναι η απουσία μίας συγκροτημένης επιστημονικής μεθοδολογίας, ενώ αναγνωρίζεται περισσότερο σαν μία ερμηνευτική επιστήμη. Αυτό το δομημένο και συμπαγές επιστημονικό πλαίσιο, η σημειολογία, λόγω των πολλών δεκαετιών παράδοσής της και της σύνδεσής της με θετικές επιστήμες, το έχει κατακτήσει. Από την άλλη, η σημειολογία πάσχει λόγω έλλειψης αντικειμενικότητας και μετρήσιμων αποτελεσμάτων μέσω – ψυχολογικών, κοινωνικών κ.α. – πειραμάτων. Ο Neagoe καταλήγει στο

⁶⁶ Με βάση αυτή την προσέγγιση, μπορούμε να πούμε ότι η σημειολογία είναι πιο κοντά στην (άχρονη) οντοφορία, αφού η σύνδεση μίας δομής (σημαίνον) με ένα (συναισθηματικό ή άλλο) περιεχόμενο (σημαινόμενο) είναι διαδικασία από την οποία προκύπτει το πώς θα δράσει εν δυνάμει η οντότητα. Η σημειολογία, με άλλα λόγια, μελετάει το πεδίο το οποίο διαμορφώνει το πολιτισμικό τεμάχιο, δηλαδή, την οντοφορική του υπόσταση. Από την άλλη, η μιμιδιακή, αφού προϋποθέτει την ύπαρξη αντιγράφων, προϋποθέτει παράλληλα τη διακίνηση, την ανάπτυξη του μουσικού αυτού υλικού. Επομένως, η μιμιδιακή, παράλληλα με την οντοφορία, παρεισφρέει και στην ενεργειακή υπόσταση. Για να αντιγραφεί η πληροφοριακή αυτή μονάδα, πρέπει να αντιγραφεί και ο τρόπος συσχέτισης των χαρακτηριστικών / ιδιοτήτων της οντότητας, επομένως, πέρα από οντοφορία, έχουμε και πληροφορία (τύπου Shannon).

συμπέρασμα ότι οι ανθρώπινοι φυσικοί, γνωσιακοί και συμπεριφορικοί μηχανισμοί προκαλούνται από τη συσχέτιση των μιμίδων, των σημείων και των γονιδίων. Το πολύπλοκο δίκτυο των βιολογικών διαδικασιών, των γνωσιακών διαδικασιών και της πολιτισμικής κληρονομικότητας εξαρτάται από τη δράση αυτών των τριών παραγόντων. Τα γονίδια είναι πληροφοριακοί σχηματισμοί οι οποίοι μεταβιβάζουν χαρακτηριστικά ενός οργανισμού στους απογόνους τους, ορίζουν τον τρόπο δόμησης των πρωτεϊνών και τη λειτουργία των κυττάρων. Τα σημεία είναι βασικές πληροφοριακές μονάδες του γνωσιακού μηχανισμού, οι οποίες αναδύονται από τη γνωσιακή εσωτερική αναπαράσταση της πραγματικότητας, η οποία αναδιαμορφώνεται συνεχώς μέσω της διάδοσης της πληροφορίας εσωτερικά του νου από τα σημεία και εξωτερικά από τα μιμίδια. Τα μιμίδια είναι οι μονάδες της πολιτισμικής κληρονομικότητας. Λειτουργούν σαν το όχημα μεταβίβασης⁶⁷ της πληροφορίας την οποία φέρουν τα σημεία μεταξύ του γνωσιακού συστήματος των αλληλοεπιδρώντων υποκειμένων. [137]

Στο γλωσσικό παράδειγμα, από το οποίο πηγάζει και ο όρος, οι παραδειγματικές είναι οι σχέσεις που δημιουργούν γλωσσικές μονάδες με εκείνες από τις οποίες θα μπορούσαν να αντικατασταθούν στη χρήση τους. Για παράδειγμα, στην πρόταση «το παιδί τρώει», η γλωσσική μονάδα «το παιδί» θα μπορούσε να αντικατασταθεί από το «ο μαθητής», «ο πατέρας», «η Μαρία» κ.α.. «Το παιδί» λοιπόν είναι σε παραδειγματική σχέση με αυτά, αφού έχουν κάποια κοινά στοιχεία λόγω των οποίων είναι δυνατή η αντικατάσταση. «Παραδειγματικές σχέσεις στη μουσική υπάρχουν και μικροδομικά αλλά και μακροδομικά. Μικροδομικά υπάρχουν στο χτίσιμο μιας μελωδίας, όσο και αυτό να μην φαίνεται στο τέλος. ... Μικροδομικά παραδειγματική είναι η διαφορά θέματος – απάντησης σε μια φούγκα ή η με διαφορετική εναρμόνιση εμφάνιση μιας μελωδίας.»⁶⁸ [107]

Σε επίπεδο μουσικολογικής προσέγγισης, η παραδειγματική ανάλυση αποτελεί το πρώτο στάδιο της σημειωτικής ανάλυσης, όπως έχει προταθεί από τον Nattiez [112], [131]. Μεθοδολογικά, περιλαμβάνει σε πρώτη φάση τον τεμαχισμό του κομματιού σε τεμάχια (segments). Έπειτα, εξετάζονται οι βαθμοί ομοιότητας που παρουσιάζουν τα τεμάχια αυτά σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και κατόπιν, με βάση κριτήρια ομοιότητας, ομαδοποιούνται σε μουσικώς σημαντικές κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές ονομάζονται «παραδείγματα». [138], [139] Η τυπική παραδειγματική ανάλυση όπως έχει εισαχθεί από τον Nattiez και τον Ruwet εξετάζει τη μελωδική επιφάνεια, δηλαδή την εύρεση προτύπων τα οποία διαμορφώνουν οι νότες αυτές καθ' αυτές. Στην πράξη όμως, αυτή η μεθοδολογία μπορεί να διευρυνθεί στην εύρεση προτύπων και άλλων παραμέτρων. [140]

Εξαιρετικά πανομοιότυπη είναι και η διαδικασία εύρεσης των «συν-ισοδυνάμων» των μουσικών μιμίδων όπως την περιγράφει ο Jan. [130] Πρόκειται και εδώ για τον τεμαχισμό ενός μουσικού έργου (particularity) εξετάζοντας τις μεταξύ τους αναλογίες, ώστε να αποφανθούμε για τυχόν ισοδυναμίες για να καταταχθούν ως συν-ισοδύναμα ενός συγκεκριμένου μιμιδίου. Η ύπαρξη συν-ισοδυνάμων μπορεί να εντοπιστεί σε όλα τα στρώματα της ιεραρχίας του στυλ αλλά στην πραγματικότητα, παίρνουν συγκροτημένη

⁶⁷ Το μιμίδιο ως «όχημα μεταβίβασης» του σημείου εκφράζει ακριβώς το παραπάνω σχόλιο.

⁶⁸ Ας θυμηθούμε την προσέγγιση του Bateson, σύμφωνα με την οποία η πληροφορία εντοπίζεται και πραγματώνεται μέσω των διαφορών.

μορφή στο *intraopus* επίπεδο, δηλαδή στο μεμονωμένο μουσικό έργο και στα έργα μίας συγκεκριμένης περιόδου ενός συνθέτη.

Και οι δύο προσεγγίσεις, τόσο αυτή της παραδειγματικής σημειολογικής ανάλυσης, όσο και αυτής της εύρεσης μιμιδιακών συν-ισοδυνάμων, εδράζονται στην κοινή αντίληψη ότι η μουσική είναι μία άρθρωση μονάδων, πολλές από τις οποίες έχουν σχέσεις ομοιότητας, μέσω της οποίας εξασφαλίζεται η συνοχή του μουσικού έργου. Με άλλα λόγια, για να αποκτήσει συνεκτικότητα ένα μουσικό έργο πρέπει ο ακροατής να μπορεί να συσχετίσει κάτι το οποίο ακούει με κάτι το οποίο έχει ήδη ακούσει. Άλλωστε, η βασικότερη αρχή η οποία διέπει τη μουσική είναι αυτή της επανάληψης. «Στη μουσική ψυχολογία έχει καταδειχθεί ότι η αρχή της επανάληψης δημιουργεί συνοχή που σε γνωσιακό επίπεδο μεταφράζεται ως συνεκτικότητα, και μας κάνει να αντιλαμβανόμαστε το μουσικό έργο ως μία οντότητα. Χαρακτηριστικά σε αυτόν τον τομέα είναι τα ψυχολογικά πειράματα της Irène Deliège [141], που μελετά το μουσικό νόημα που βασίζεται στη μουσική επανάληψη, χρησιμοποιώντας μουσικούς και μη μουσικούς, και γνωστά μουσικά έργα.» [109] Ο ίδιος ο Schoenberg πίστευε ότι «η καταληπτότητα στη μουσική μοιάζει αδύνατη χωρίς την επανάληψη» [142] Η ιδέα αυτή υποστηρίζεται και από τα πρόσφατα πειράματα της Elizabeth Hellmuth Margulis, η οποία παρουσίαζε σε ακροατές χωρίς κάποια ιδιαίτερη μουσική εκπαίδευση δύο σετ από παραδείγματα σύγχρονης μουσικής. Στο πρώτο σετ οι συνθέτες από τους οποίους είχε ζητηθεί να συνθέσουν τα παραδείγματα αυτά, σκόπιμα απέφυγαν στοιχεία επανάληψης, ενώ το δεύτερο σετ ήταν μία ψηφιακή παραλλαγή του πρώτου με τη διαφορά ότι είχαν προστεθεί στοιχεία επανάληψης. Στο ερώτημα του ποιο από τα δύο σετ οι ακροατές κρίνουν ότι έχει γραφτεί από άνθρωπο υπήρχε μία σαφής τάση υπέρ του δεύτερου. [143] Χρειάζονται λοιπόν αποσπάσματα «αναφοράς», τα οποία λειτουργούν σα δομικές μονάδες συγκρότησης μουσικών έργων με συνοχή. Τα αποσπάσματα αναφοράς αυτά η σημειολογική ανάλυση τα ονομάζει παραδείγματα, ενώ η μιμιδιακή συν-ισοδύναμη.⁶⁹

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι αυτό το οποίο επαναλαμβάνεται δεν είναι το μουσικό χωρίο αυτό καθαυτό, αλλά κάποια χαρακτηριστικά – ιδιότητές του, όπως ρυθμικά και μελωδικά μοτίβα, το θέμα και παραλλαγές του, συγκεκριμένες αρμονικές διαδοχές, καθώς και άλλα δομικά συστατικά. Ποιες παράμετροι θα επιλεγούν στη διαδικασία ταξινόμησης των μουσικών μονάδων σε παραδείγματα γίνεται με έναν *ad hoc* τρόπο, κάθε φορά αναφορικά με το μουσικό πλαίσιο (*context*).⁷⁰ [140]

Οι Conklin και Anagnostopoulou σε κοινές τους εργασίες για τον ορισμό του μουσικού αντικειμένου (της μουσικής μονάδας / τεμαχίου) χρησιμοποιούν τα λεγόμενα «viewpoints»⁷¹. «Τα viewpoints είναι συναρτήσεις, προσδιορισμένες ή επιλεγμένες από τον αναλυτή της μουσικής, οι οποίες λειτουργούν στο πεδίο της βασικής αναπαράστασης. Ένα viewpoint μοντελοποιεί κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα

⁶⁹ Η ανάγκη για συνοχή προκύπτει από τον νόμο της αυτοσυντήρησης, της οποίας παράγωγα είναι τα παραδείγματα και τα συν-ισοδύναμα. Οι παραλλαγές τους, από την άλλη, οι οποίες προσδίδουν ποικιλία και ενδιαφέρον είναι παράγωγα της επικοινωνίας.

⁷⁰ Η επανάληψη των ιδιοτήτων και όχι των μουσικών αποσπασμάτων απόφρων είναι ένδειξη οντοφορικής διαδικασίας. Η διαμόρφωσή τους με βάση το μουσικό πλαίσιο συσχετίζεται με την αλληλεπίδραση των οντοφορικών ορίων.

⁷¹ Προτιμήθηκε να κρατηθεί ο αγγλικός όρος, καθότι μια μετάφραση στα ελληνικά (όπως άποψη, έποψη ή ξάγναντο) θα ήταν παρωχημένη.

οποία προέρχονται από τη μουσική επιφάνεια, για παράδειγμα: το μελωδικό περίγραμμα, τα διαστήματα, η διάρκεια, ή η διαστηματική απόσταση από την τονική» [144] Το πεδίο των viewpoint εκφράζεται συναρτησιακά ως $Seq(X)$, όπου στη θέση του X μπορεί να μπει οποιαδήποτε μεταβλητή αναφέρεται στο μουσικό αντικείμενο. Για παράδειγμα, το viewpoint $Seq(Note)$ αναφέρεται στο πεδίο της μελωδίας. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να περιγράψουν ακόμα και πιο αφηρημένες ιδιότητες των μουσικών αντικείμενων (όπως η μελωδική πυκνότητα ή το μελωδικό περίγραμμα), ώστε να γίνει εφικτή η ομαδοποίησή τους στις ίδιες παραδειγματικές κατηγορίες, παρόλο που διαφέρουν στη μουσική επιφάνεια. [139]

Μέχρι τώρα έχουμε τονίσει την αρχή της επανάληψης ως στοιχείο συνεκτικότητας του μουσικού έργου. Η επανάληψη αυτή προκύπτει από τη σύγκριση των αποσπασμάτων τα οποία λαμβάνει ο ακροατής με αποσπάσματα τα οποία έχει ήδη ακούσει.⁷² Η σύγκριση αυτή όμως γίνεται όχι με βάση τη μελωδική επιφάνεια αλλά πρωτίστως βάση αφηρημένων ιδιοτήτων τους. Ο ακροατής λοιπόν αναζητά στατιστικά επαναλαμβανόμενα στοιχεία και κανονικότητες. «Η μουσική ερμηνεύεται με όρους ενσωματωμένων σχέσεων, ειδικά μέσω της επανάληψης αποσπασμάτων ή φράσεων. Τα βήματα στη διαδικασία αυτή (σ.τ.μ. της μεθόδου που προτείνει για δομική μουσική ανάλυση) περιλαμβάνουν το μετασχηματισμό ενός ηχητικού αρχείου σε μία αναπαράσταση με ομοιότητες ή σε μία μετρική απόσταση, την αναζήτηση παρόμοιων αποσπασμάτων, το σχηματισμό cluster από παρόμοια αποσπάσματα και την εξήγηση της μουσικής με όρους που προκύπτουν από τα cluster αυτά.» [145]

Τόσο η παραδειγματική σημειωτική ανάλυση, όσο και η μιμιδιακή – αλλά κατ' επέκταση και κάθε τύπος μουσικής ανάλυσης – περιλαμβάνει την αναζήτηση μουσικών «προτύπων» (patterns) στα οποία επιβεβαιώνεται μία στατιστική επαναληψιμότητα. «Η αναζήτηση προτύπων στη μουσική σαν μία υπολογιστική τεχνική είναι πολύ κοντινή με την ιδέα της παραδειγματικής ανάλυσης, καθότι συμπεριλαμβάνει την αναζήτηση τεμαχίων τα οποία παρουσιάζουν ομοιότητες μέσα σε ένα έργο ή σε μία ομάδα από έργα» [140]. Κάθε μουσικολογική ανάλυση είναι μία άτυπη αναγνώριση προτύπων. «Η βασική ιδέα είναι αρκετά απλή: η μουσική δομή σηματοδοτείται από την επανάληψη. Βέβαια, «επανάληψη» στη μουσική σημαίνει ομοιότητα σε κάποιο αφαιρετικό επίπεδο μεταξύ ηχητικών δειγμάτων». [145] Η αναζήτηση κανονικοτήτων μεταξύ αποσπασμάτων αναφορικά με κάποια αφηρημένα ή μη χαρακτηριστικά τους είναι μία αναζήτηση προτύπων. Τα αξιοσημείωτα μουσικά πρότυπα πρέπει να αναζητηθούν στο υπό ανάλυση corpus και είναι αυτά τα οποία υπέρ (ή υπό) αντιπροσωπεύονται σε σχέση με το βαθμό με τον οποίο εκτιμάται ότι συναντιούνται. Ο βαθμός συνάντησης ενός προτύπου μπορεί να προκύψει με βάση τη συχνότητα εμφάνισής του μέσα σε ένα ευρύτερο ρεπερτόριο με το οποίο μπορεί να συγκριθεί. [139]

Οι Dannenberg & Hu [145] αναφέρουν εργασίες οι οποίες συνδέουν την έννοια του προτύπου με τη μουσική: «Οι Simon και Sumner έγραψαν παλιά ένα άρθρο πάνω στην ακρόαση της μουσικής και τη σχέση της με το σχηματισμό προτύπων και τη μνήμη,

⁷² Μέσω της επανάληψης προκύπτουν ακούσματα αναφοράς (reference), μουσικά patterns με τα οποία είναι απόλυτα εξοικειωμένος ο ακροατής. Λόγω της ύπαρξης αναφορικών αποσπασμάτων μπορούν να αναπτυχθούν διαφορές (μέσω των οποίων θα γεννηθούν διαφορές). Είναι επομένως θεμελιακού χαρακτήρα.

διατυπώνοντας την άποψη ότι κωδικοποιούμε μελωδίες μέσω της αναφοράς σε πρότυπα και σε μετασχηματισμούς. [146] Αυτό συνδέεται άμεσα με τη συμπίεση δεδομένων, η οποία έχει επίσης εμπνεύσει εργασίες μουσικής ανάλυσης. [147] Ο Narmour περιγράφει μία σειρά από μετασχηματιστικές διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα στη μουσική για να δημιουργήσουν δομές τις οποίες αντιλαμβάνεται ο ακροατής. [148]». Στο ίδιο πνεύμα οι Conklin και Anagnostopoulou [144] παραθέτουν αντίστοιχες εργασίες: «Τα πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση και για μία συμπαγή αναπαράσταση ενός έργου [149], ως μουσικά δομικά στοιχεία της παραδειγματικής ανάλυσης ενός έργου [112], ως αποσπάσματα για μία αλγοριθμική σύνθεση που στηρίζεται στην έννοια του μοτίβου [150], σαν κλειδιά μίας μεθόδου ανάκτησης μουσικής πληροφορίας που βασίζεται στο περιεχόμενο [151] καθώς και για την αναγνώριση και τη διάκριση του μουσικού στυλ ή των πνευματικών δικαιωμάτων [152]»

Ένα μείζον ζήτημα που προκύπτει στις διαδικασίες μουσικολογικής ανάλυσης μέσω αναζήτησης προτύπων είναι ο τρόπος τεμαχισμού (segmentation) του μουσικού υλικού σε πρότυπα / μουσικά τεμάχια / αντικείμενα / μονάδες.⁷³ Στην παραδειγματική ανάλυση του έργου Keren του Ξενάκη [139] ο τεμαχισμός γίνεται στα σημεία τα οποία ο συνθέτης έχει σημειώσει αναπνοές (breath) και κορώνες (fermata), σημάδια τα οποία εκ των πραγμάτων χωρίζουν το μουσικό υλικό σε μέρη ή φράσεις τα οποία έχουν κατά κάποιο τρόπο αυθύπαρκτο νόημα. Αντίθετα, ο Nattiez στην παραδειγματική ανάλυση του έργου Syginx του Debussy παρουσιάζει δύο εκδοχές τεμαχισμού, ανά μέτρο και ανά beat. [112]

Στη μιμιδιακή ανάλυση επιχειρείται μια τεμαχικοποίηση, η οποία να παρουσιάζει κάποια ψυχολογική εγκυρότητα, δηλαδή να προσομοιάζει στον τρόπο με τον οποίο ο ακροατής έχει μάθει να διαχωρίζει το μουσικό συνεχές μίας πληροφοριακής ροής, με τρόπο που να ταιριάζει στις διαδικασίες πρόσληψης και κατανόησης της μουσικής. Ο Jan περιγράφει δύο βασικές μεθόδους μέσω των οποίων επιτυγχάνεται το παραπάνω: πρώτον ένας bottom-up τεμαχισμός, ο οποίος είναι αποτέλεσμα διαδικασιών (όπως περιγράφονται από τη θεωρία Gestalt και την ενσωμάτωσή της σε μία μουσικο-θεωρητική οπτική) και δεύτερον ένας top-down σχηματικός τεμαχισμός ο οποίος σχετίζεται με τον τρόπο αντίληψης (conceptual) της μουσικής. [153]

Η ψυχολογική σχολή της Gestalt περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τα πρότυπα τα οποία προσλαμβάνουμε, είτε οπτικά είτε ακουστικά. Οι βασικές αρχές περιγράφονται από την Deutsch: «ομαδοποιούμε στοιχεία σε διατάξεις στη βάση κάποιων απλών κανόνων... Ένας είναι η εγγύτητα (proximity): τα στοιχεία τα οποία είναι πιο κοντά μεταξύ τους ομαδοποιούνται πιο εύκολα σε σχέση με όσα είναι σε απόσταση... ένας άλλος είναι η ομοιότητα (similarity)... Ένας τρίτος, η καλή συνέχεια (good continuation), ορίζει ότι τα στοιχεία τα οποία ακολουθούν το ένα το άλλο σε μία δεδομένη κατεύθυνση συνδέονται αντιληπτικά από κοινού... Ένας τέταρτος, η κοινή μοίρα (common fate), ορίζει τα στοιχεία τα οποία αλλάζουν με τον ίδιο τρόπο είναι και αυτά αντιληπτικά συνδεδεμένα... Μία πέμπτη αρχή είναι η τάση για ομαδοποίηση εκείνων των διασυνδέσεων οι οποίες μας είναι οικείες» [154]

⁷³ Τα διαφορετικά τεμάχια επιτρέπουν τη σύγκριση των αποσπασμάτων κατά την ακρόαση. Είναι οι διαφορές μέσω των οποίων παράγονται διαφορές.

Τις αρχές αυτές αξιοποιεί η «Γενετική Θεωρία της Τονικής Μουσικής» (Generative Theory of Tonal Music, GTTM) των Lerdahl και Jackendoff [111] η οποία περιγράφει πέντε κανόνες καλώς διαμορφωμένης ομαδοποίησης (Grouping well-formedness rules, GWFR). Οι κανόνες αυτοί εδραιώνουν τη μορφική δομή των ομαδοποιημένων προτύπων και τη σχέση τους με την ακολουθία των γεγονότων στο τονικό ύψος (pitch-events) τα οποία σχηματίζουν ένα κομμάτι, καθώς και επτά κανόνες προτίμησης για την ομαδοποίηση (grouping preference rules, GPR), οι οποίοι περιγράφουν ποιες από τις πιθανές μορφικές δομές προς εκχώρηση σε ένα κομμάτι αντιστοιχούν στην πραγματική αίσθηση του ακροατή. Με άλλα λόγια, οι GWFR προσδιορίζουν το τι είναι μορφικά εφικτό ενώ οι GPR προβλέπουν ποιες δομές είναι περισσότερο πιθανό να ανιχνεύσει ένας ακροατής.

Ένα από τα πιο χρήσιμα μοντέλα αναπτύχθηκε από τον Eugene Narmour [155], στηριγμένο στις αρχές ψυχολογίας της Gestalt που αναφέρονται στην έννοια της προσδοκίας στη μουσική, όπως είχε διατυπωθεί από τον Meyer [18]. Πρόκειται για το «implication-realization» μοντέλο (i-r) το οποίο περιγράφει κανόνες για την προσδοκώμενη ροή της μελωδίας, με βάση όχι τόσο μουσικο-αναλυτικά κριτήρια αλλά γνωσιακά. Η κεντρική του ιδέα πρεσβεύει ότι σε μία μελωδική κίνηση, τα διαστήματα μικρότερα ή ίσα της καθαρής τέταρτης (5 ημιτόνια) κινούμενα προς μία συγκεκριμένη τονική κατεύθυνση, δημιουργούν την αίσθηση ότι η κίνηση που θα ακολουθήσει θα είναι ίδιου διαστηματικού ύψους προς την ίδια κατεύθυνση (τη διαδικασία αυτή τη συμβολίζει με το γράμμα «P», αρχικά της λέξης process). Αντίθετα, μία κίνηση σε διάστημα μεγαλύτερο ή ίσο της πέμπτης καθαρής (7 ημιτόνια) κατά κανόνα ακολουθείται από κίνηση μικρότερου διαστηματικού ύψους προς την αντίθετη κατεύθυνση (τη διαδικασία αυτή τη συμβολίζει με το γράμμα «R», αρχικά της λέξης reversal). Η τρίτη βασική μελωδική πορεία είναι αυτή της επανάληψης – διπλασιασμού («D», από το duplication).

Ο Adkins [156], για τον τεμαχισμό αποσπασμάτων ηλεκτροακουστικής μουσικής ακολουθεί τη φιλοσοφία του i-r μοντέλου και προσθέτει επιπλέον τέσσερις κανόνες:

- Παρεμβολή στην «ηχητική υφή» (gestural/textural interference): απομάκρυνση από μία εγκαθιδρυμένη υφή μέσω ενός εμφανώς διακριτού μουσικού αντικειμένου.
- Παρεμβολή στο ηχόχρωμα (timbral interference): απομάκρυνση από ένα φασματικά διακριτό μουσικό αντικείμενο σε ένα άλλο.
- Παρεμβολή στη δυναμική/ένταση (dynamic interference): απομάκρυνση από ένα σιγανό σε ένα δυνατό ήχο.
- Παρεμβολή στο τονικό ύψος (registral interference): απομάκρυνση από έναν υψίσυχο σε έναν μπάσο ήχο και αντιστρόφως.

Αναφερθήκαμε εκτενώς στην προηγούμενη ενότητα, στο πρώτο στάδιο της σημειωτικής ανάλυσης, την παραδειγματική, το οποίο περιλάμβανε τον τεμαχισμό του συνεχούς μουσικού υλικού σε αποσπάσματα, στα οποία έγινε ο εντοπισμός επαναλαμβανόμενων προτύπων και η ομαδοποίησή τους σε παραδειγματικές κατηγορίες με βάση κριτήρια ομοιότητας. Στο δεύτερο στάδιο, τη συνταγματική ανάλυση, ερευνάται

το πώς τα παραπάνω παραδείγματα διαρθρώνονται στη γραμμική χρονικά εξέλιξη του κομματιού και γίνεται προσπάθεια εντοπισμού των νέων προτύπων που διαμορφώνονται.

Πρακτικά, ενώ στην παραδειγματική ανάλυση τα συστατικά του κάθε προτύπου ήταν οι μεμονωμένες νότες, στη συνταγματική είναι ολόκληρα μουσικά τεμάχια/αποσπάσματα. Με αυτό τον τρόπο αποκαλύπτεται το πώς ο τρόπος τοποθέτησης μουσικών αποσπασμάτων δημιουργεί δομές μεγαλύτερης κλίμακας. [140]

Τις οργανώσεις επιμέρους αυτόνομων προτύπων μελετά και η μιμιδιακή επιστήμη. Ενώ κάθε μιμίδιο αποτελεί μία πληροφοριακή μονάδα, εξετάζεται και η αλληλεπίδραση και η συνοργάνωση των μονάδων αυτών. Όταν πρόκειται για οντότητες που εξελίσσονται στο χρόνο, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο κατανέμονται τα επιμέρους αυτόνομα πρότυπα στον άξονα του χρόνου, διαμορφώνοντας πρότυπα μεγαλύτερης τάξης, όπου τότε ξεδιπλώνεται ο κοινός τόπος της συνταγματικής ανάλυσης και της εύρεσης των «συμμιμιδίων».

Η ανάπτυξη της μουσικολογίας σε ολόκληρο τον 20^ο αιώνα μ.Χ. προσέφερε χρήσιμα εργαλεία για την ερμηνεία της δυτικής μουσικής. Ένα ολοκληρωμένο οπλοστάσιο και μία πλούσια βιβλιογραφία δομικής ανάλυσης ολόκληρης της εργογραφίας της κλασικής μουσικής ήταν διαθέσιμο στα χέρια όσων αποπειράθηκαν να συνδέσουν τη σημειολογία και τη μιμιδιακή επιστήμη με την ερμηνεία μουσικών φαινομένων του μουσικού αυτού είδους. Ολόκληρο το αντικείμενο της σημειολογίας της μουσικής και της μουσικής μιμιδιακής επιστήμης χτίστηκε πάνω στην ανάλυση φαινομένων της δυτικής κλασικής μουσικής, όπως αυτή αποτυπώνεται σημειογραφικά στο γνωστό πεντάγραμμα.

Έχουμε αναφέρει όμως ότι ο κοινός τόπος και των δύο προσεγγίσεων είναι η αναζήτηση δομικών μονάδων οι οποίες συγκροτούν μουσικά πρότυπα. Τα συστατικά στοιχεία των μονάδων αυτών όμως δεν είναι κατ' ανάγκη οι τυπικές νότες, αλλά κάθε τύπου ήχημα. Επομένως, η ανάλυση ενός μουσικού έργου δεν πρέπει υποχρεωτικά να γίνει μέσω της παρτιτούρας, παρόλο που βέβαια η εξοικείωση των αναλυτών με αυτήν καθιστά την ανάλυση πιο εύκολη. Εναλλακτικοί τρόποι απεικόνισης ενός μουσικού έργου, όπως για παράδειγμα το φασματογράφημα μιας ηχογράφησης του, μπορούν να αποτυπώσουν τα μουσικά πρότυπα τα οποία έχουν παραχθεί και να διακριθούν οι αυτόνομες δομικές μονάδες μέσω των οποίων συγκροτείται το μουσικό έργο. Με τον τρόπο αυτό, η σημειολογία και η μιμιδιακή επιστήμη μπορούν να βρουν εφαρμογή σε έργα πέραν της κλασικού τύπου δυτικής μουσικής, ακόμα και σε έργα τα οποία δε σημειογράφονται σε παρτιτούρα, όπως για παράδειγμα η ηλεκτρονική και η ηλεκτροακουστική μουσική.

Ο Field προκρίνει τη σημειολογία ως μία μέθοδο ανάλυσης της ηλεκτροακουστικής μουσικής, επειδή μπορεί να διακρίνει τα έξω- και υπερ- μουσικά νοήματα από τις φασματο-μορφολογικές (μουσικές) δομές, δεχόμενος τη Σωσσυριανή διάκριση σε σημαίνον και σημαινόμοιο. [157] Η Humięcka-Jakubowska και ο Ćamci προσπαθούν να συνδέσουν τη θεωρία περί σημείου του Pierce με τις έννοιες «διήγηση» και «μίμηση»⁷⁴

⁷⁴ Στην αφηγηματολογία έχουμε το φαινόμενο της διήγησης όταν ο αφηγητής κρατάει το λόγο, αφηγείται ο ίδιος τα γεγονότα και μεταδίδει με πλάγιο ύφος τις πράξεις των ηρώων, ενώ της μίμησης όταν τον δίνει, πριμοδοτώντας το διάλογο και τον θεατρικό τρόπο αναπαράστασης του συμβάντος.

της αφηγηματολογίας για την ερμηνεία φαινομένων της ηλεκτρονικής μουσικής [158], [159].

Η απουσία ενός κοινού ηχητικού λεξιλογίου και μίας αντικειμενικής αναπαράστασης της ηλεκτρονικής μουσικής είναι τα στοιχεία τα οποία καθιστούν δύσκολο το εγχείρημα της διατύπωσης ενός ερμηνευτικού σχήματος, ικανό να γενικευτεί. Ο κοινός τόπος πάντως των έργων ηλεκτρονικής μουσικής είναι η ύπαρξη ήχων, οι οποίοι δεν προέρχονται από φυσικά όργανα, αλλά από κάποιου τύπου ηλεκτρονική διαδικασία (γεννήτριες, συνθεσάιζερ, ηχογραφήσεις κ.α.). Το ηλεκτρονικό μουσικό υλικό το οποίο προέρχεται από τη φύση και την ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ανεκδοτικής φύσης.⁷⁵ Αντίστοιχα, ήχοι οι οποίοι προέρχονται από φυσικά όργανα ή την ανθρώπινη γλώσσα είναι μη ανεκδοτικής – αναφορικής φύσης και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρονική μουσική αφού υποστούν μία ηλεκτρονική επεξεργασία (ενίσχυση, πρόσθεση ηχητικών εφέ, αποδόμηση, αποσύνθεση κ.α.). Οι μη ανεκδοτικοί ήχοι προερχόμενοι από φυσικά όργανα συνιστούν άμεσες αναφορές στην τυπική μουσική που γνωρίζουμε και ως εκ τούτου, σύμφωνα με τον Jean-Louis Di Santo, ανήκουν στο πεδίο της μουσικής και των συναισθημάτων περισσότερο παρά του νοήματος, επειδή «η μορφή τους είναι σημαντικότερη από την καταδήλωση»⁷⁶. [160] Καταδηλωτικά είναι επίσης τα μουσικά σημεία τα οποία χρησιμοποιούνται στη *musique concrète* (όπως το έργο *Étude aux chemins de fer* (1948) του Pierre Schaeffer, στο οποίο παρουσιάζονται ηχογραφήσεις από το θόρυβο των τρένων καθώς κινούνται πάνω στις ράγες) και ως επί το πλείστον αναφέρονται στην πραγματικότητα, τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο δίνοντας μία αναπαράσταση της πραγματικότητας και μιμούμενα τη γραμμική ροή του χρόνου. [158] Ακριβώς επειδή η ηλεκτρονική μουσική χρησιμοποιεί τόσο ανεκδοτικούς όσο και μη ανεκδοτικούς αναφορικούς ήχους, διευρύνει κατά πολύ τις βαθιά ριζωμένες δομές της παραδοσιακής μουσικής γλώσσας. Ως εκ τούτου, αυτό το νέο υλικό αλληλοεπιδρά με τις γνωσιακές ικανότητες του ακροατή, προσθέτοντας ένα ακόμα στρώμα νοήματος μέσα στο συνεχές του υλικού το οποίο επιδρά στον ακροατή. [159] Πολλοί όμως ανεκδοτικοί ήχοι αποκτούν συνδηλωτικό χαρακτήρα. Όπως αναφέρει ο Kendall: «οι ήχοι ενδέχεται να αποκτήσουν συγκεκριμένο νόημα ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιούνται. Μπορούν να παίξουν το ρόλο της έναρξης, του κλεισίματος, της χάραξης ορίων και πάει λέγοντας. Για παράδειγμα, στο *Poème électronique* του Edgard

⁷⁵ Η πρόκληση στη χρήση των ανεκδοτικών ήχων είναι η παρουσίασή τους με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτή η αλληλεπίδρασή τους με το οντοφορικό όριο του ακροατή.

⁷⁶ «Η καταδήλωση (*denotation*) κι η συμπαραδήλωση (*connotation*, σ.σ.. κατά άλλους συνδήλωση) είναι όροι που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ του σημαίνοντος και του αναφερομένου του. «Καταδήλωση» τείνει να περιγράφεται ως η εξ ορισμού, κυριολεκτική, ή κοινής λογικής σημασία του σημείου. Η συμπαραδήλωση αναφέρεται στους κοινωνικό- πολιτιστικούς και προσωπικούς συνειρμούς (ιδεολογικούς, συναισθηματικούς, κ.λπ.). Ο Roland Barthes υιοθέτησε από τον Louis Hjelmslev την έννοια ότι υπάρχουν διάφορες τάξεις σημασιодότησης (επίπεδα σημασίας) [263], [264]. Η πρώτη τάξη σημασιодότησης είναι αυτή της καταδήλωσης: σαντό το επίπεδο υπάρχει ένα σημείο που αποτελείται από ένα σημαίνον και ένα σημαινόμο. Η συμπαραδήλωση είναι σημασιодότηση δευτέρας τάξεως η οποία χρησιμοποιεί το καταδηλωτικό σημείο (σημαίνον και σημαινόμο)ως δικό της σημαίνον και του επισυνάπτει ένα πρόσθετο σημαινόμο. Στο πλαίσιο αυτό η συμπαραδήλωση είναι ένα σημείο, που αντλεί από το σημαίνον ενός καταδηλωτικού σημείου (ούτως ώστε η καταδήλωση να οδηγεί σε μια σειρά συμπαραδηλώσεων)» [265] Μετάφραση της Μαρίας Κωνσταντοπούλου στο:

<http://shorturl.at/xABI5>

Varèse μία εκκλησιαστική καμπάνα έχει το ρόλο του εναρκτήριου ήχου. Όταν όμως επιστρέφει αργότερα, έχει το ρόλο του κλεισίματος σε μία σημαντική υποενότητα». [161]

Τη διάκριση ανάμεσα σε ανεκδοτικούς και μη ανεκδοτικούς – αναφορικούς ήχους αποδέχεται και ο Adkins [156] στην προσπάθειά του να προσδιορίσει τα μουσικά μιμίδια στην ηλεκτροακουστική μουσική, ενώ παράλληλα διατυπώνει τις απαραίτητες επιπρόσθετες διαδικασίες για την τεμαχικοποίηση (segmentation) του μουσικού υλικού στην ηλεκτροακουστική σε σχέση με την αμιγώς ακουστική μουσική. Διακρίνει τα μιμίδια στα ιεραρχικά στρώματα οργάνωσης της μουσικής, κατά Nattiez και Meyer. Στην ορχηστρική μουσική τα «θεματικά μιμίδια» (topic memes), όπως αυτά της εποχής του Sturm und Drang της κλασικής περιόδου, περιλαμβάνουν τη συσχέτιση ενός μουσικού μιμιδίου με ένα εννοιολογικό-νοητικό. Για παράδειγμα, η κατιούσα χρωματική κίνηση ενός τετραχόρδου στο μπάσο είναι συνδεδεμένη στην κλασική μουσική με τον θάνατο, το θρήνο, το πένθος, στα έργα από τον Purcell και τον Bach μέχρι τον Beethoven, τον Wagner και τον Strauss. Στην ηλεκτροακουστική μουσική, η συσχέτιση αυτή γίνεται και σε ανεκδοτικούς ήχους, όπως για παράδειγμα ο ήχος από το τριζόνι και τα εξωτικά πουλιά συσχετίζεται με το θεματικό μιμίδιο των ζεστών τροπικών περιβαλλόντων τη νύχτα (όπως στα έργα: Sud του Jean-Claude Risset, Hot Air του Jonty Harrison, Signé Dionysos του Francis Dhomont, Tangram του Robert Normandeau, Near and Far του David Lumsdaine, La Création du Monde του Bernard Parmegiani, Associations Libres του Gilles Gobeil, Les Couleurs de la Nuit του François Bayle και La Disparition του Christian Calon). [156]

2.3 Μουσική Πληροφορία και Ανθρώπινος Εγκέφαλος

Έχουμε εκτενώς αναφερθεί στο ρόλο της επανάληψης δομικών μονάδων σε όλα τα επίπεδα της δομικής ιεραρχίας των μουσικών έργων. Συνοπτικά, μπορούμε να πούμε ότι ένα μουσικό έργο αποκτά συνοχή όταν ο ακροατής μπορεί να συσχετίσει αποσπάσματά του με άλλα του ίδιου έργου ή άλλων έργων. Για παράδειγμα, ένα τραγούδι του είδους της pop δομείται με βάση τη διαδοχή των κουπλέ με τα ρεφρέν. Ο ακροατής ασυνείδητα αντιλαμβάνεται ότι συντελείται μία επανάληψη δομικών μονάδων. Αντίστοιχα, ένα έργο της τζαζ μουσικής πολύ εύκολα αναγνωρίζεται ως τζαζ ακόμα και από μη εξοικειωμένους ακροατές, επειδή υπάρχουν στοιχεία τα οποία επαναλαμβάνονται σε όλα τα έργα του είδους αυτού. Για να είναι δυνατή αυτή η συσχέτιση, προϋπόθεση είναι η καταγραφή σε μνήμη των μονάδων αυτών, ώστε να λειτουργούν σαν αποσπάσματα αναφοράς, μέσω των οποίων αποφαινεται ο ακροατής για το επίπεδο ομοιότητας όταν τα συγκρίνει κατά την ακρόαση. Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε το πώς καταγράφεται η μουσική πληροφορία στον ανθρώπινο εγκέφαλο και τον τρόπο με τον οποίο συντελείται η ακούσια διαδικασία συσχέτισης των αποθηκευμένων πληροφοριών με τις καινούριες τις οποίες προσλαμβάνει ο ακροατής κατά την ακρόαση.

Η μουσική πληροφορία αποθηκεύεται στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Για να το αποδείξουμε, αρκεί να ανακαλέσουμε απλώς μία γνωστή μελωδία. Ήδη, μισό αιώνα πριν, ο διάσημος Αμερικάνος νευροχειρουργός Wilder Penfield, ανέφερε στις μελέτες

του ότι όταν έδινε ηλεκτρικό ερέθισμα σε συγκεκριμένες περιοχές του ακουστικού φλοιού σε ξύπνιους ασθενείς υπήρχαν περιπτώσεις ακουστικών παραισθήσεων, ενώ όταν ερέθιζε τον κροταφικό λοβό υπήρξαν καταγραφές ανθρώπων που άκουγαν πιο δυνατά τους ήχους, καθώς επίσης και κανονική μουσική. [162], [163]

Η μουσική υπάρχει παρά την απουσία της. Ακόμα και όταν δεν παίζεται ένα έργο, αν στοιχεία του είναι ικανοποιητικά αποθηκευμένα στον εγκέφαλό μας, μπορούμε να τα φανταστούμε, να τα «τραγουδήσουμε» εσωτερικά. Η μεγάλη πλειοψηφία των ανθρώπων στη δύση μπορούν να φανταστούν το ξεκίνημα από την 5^η συμφωνία του Μπετόβεν και τον εθνικό ύμνο της χώρας τους. Όταν σκεφτόμαστε μία καταγραφόμενη μουσική, οι μελέτες δείχνουν ότι τότε ο ακουστικός φλοιός είναι ενεργοποιημένος. Μελέτες μέσω μαγνητικών τομογραφιών δείχνουν ότι υπάρχει επικάλυψη σε τμήματα του εγκεφάλου, τα οποία παρουσιάζουν δραστηριότητα όταν ακούμε και όταν σκεφτόμαστε μια μουσική. [164] Αντίστοιχα τμήματα του εγκεφάλου είναι ενεργοποιημένα όχι μόνο κατά τη διαδικασία ανάκλησης μιας ήδη γνωστής μουσικής, αλλά και κατά τη διαδικασία σύλληψης μιας καινούριας, κατά τη διαδικασία της σύνθεσης δηλαδή. Το τμήμα αυτό του εγκεφάλου επιτρέπει στο συνθέτη να φανταστεί πώς θα ήταν μια μελωδία αν παίζονταν με διαφορετικά όργανα ή ταχύτητα. Επίσης, η λειτουργία των νευρωνικών κυκλωμάτων στο φλοιό αυτό επιτρέπει στον άνθρωπο να κωδικοποιεί «αφηρημένες» (abstract) συσχετίσεις μεταξύ ήχων (όπως για παράδειγμα η διάκριση μιας συγχορδίας σε μείζονα ή ελάσσονα) ανεξάρτητα από την τονικότητα τους ή το όργανο το οποίο τις εκτελεί. [104] Ο ανθρώπινος εγκέφαλος μάλιστα παρουσιάζει παρεμφερή δραστηριότητα σε συγκεκριμένα σημεία, ανάλογα με τα μουσικά διαστήματα τα οποία λαμβάνει ο ακροατής. Διαφορετικά κέντρα πυροδοτούνται όταν ακούμε π.χ. το διάστημα της τρίτης μικρής (είτε πρόκειται για το λα-ντο είτε για το ρε-φα) και διαφορετικά της τέταρτης καθαρής (είτε πρόκειται για το σολ-ντο είτε για το ντο-φα). Ο εγκέφαλος λοιπόν είναι προγραμματισμένος για να αναγνωρίζει τη σχέση των ήχων και όχι τις νότες αυτές καθαυτές. [165] Παράλληλα, συμβαίνει και η ανάστροφη διαδικασία. Η μουσική εκπαίδευση και η ενεργητική ακρόαση (η προσεκτική, συγκεντρωμένη, προσηλωμένη ακρόαση δηλαδή) αναδομεί τις περιοχές αυτές, ενισχύει υπάρχοντα κυκλώματα και δημιουργεί καινούρια.⁷⁷ [166], [167]

Στη βιολογία το ζητούμενο είναι να εντοπισθεί η σχέση του χημικού σχηματισμού ενός γονιδίου (διάταξη νουκλεοτιδίων) με την πληροφορία την οποία ο σχηματισμός αυτός φέρει. Στον πολιτισμό αντίστοιχα, ζητούμενο είναι να ερευνηθεί η σχέση των σχηματισμών των νευρώνων του εγκεφάλου με την πληροφορία την οποία φέρουν. Όπως λοιπόν τα γονίδια είναι εκείνα τα πρότυπα μορίων τα οποία κωδικοποιούν κάθε βιολογική πληροφορία, κατά τον ίδιο τρόπο τα μιμίδια, κατά των Delius, είναι εκείνα τα πρότυπα νευρωνικών συνδέσεων τα οποία κωδικοποιούν κάθε πολιτισμική πληροφορία. Θεωρεί επίσης ότι «κάθε πολιτισμικό ίχνος το οποίο μεταφέρεται από κάποιον σε κάποιον άλλο πρέπει να θεωρηθεί αντίστοιχα σαν μία μεταφορά ενός συγκεκριμένου

⁷⁷ Η αλληλεπίδραση μιας μουσικής οντότητας με έναν ακροατή του αλλάζει το οντοφορικό του όριο. Αυτή η αλλαγή καταγράφεται και νευρωνικά.

προτύπου ενεργοποιημένων ή απενεργοποιημένων συνάψεων του αντίστοιχου δικτύου του μυαλού του ενός στον άλλον.»⁷⁸ [168]

Μία εκτεταμένη μελέτη σχετικά με τη «μουσική μνήμη» έχει γίνει από τον Jan με τίτλο «Music, Memory, and Memes in the Light of Calvinian Neuroscience» [169]. Εξετάζει τα μοντέλα μνήμης με βάση την κλασική διχοτομία μυαλό / νους, όπως αποτυπώνονται στους κλάδους της νευροβιολογίας και της ψυχολογίας αντίστοιχα. Αναφορικά με τη νευροβιολογία εξετάζει τον τρόπο αναπαράστασης των μουσικών προτύπων σε πρότυπα νευρωνικών διασυνδέσεων, ενώ αναφορικά με την ψυχολογία εξετάζει τον τρόπο με τον οποίον η συνείδηση αποκτά πρόσβαση στην αποθηκευμένη μουσική πληροφορία.

Όσον αφορά τη νευροβιολογία, η γενική ιδέα είναι ότι τα μουσικά πρότυπα αποθηκεύονται στον εγκέφαλο μέσω δομικών σχηματισμών του νευρωνικού δικτύου, καθώς επίσης και με τη μορφή προτύπων. Το μοντέλο το οποίο περιγράφει ο Αμερικανός θεωρητικός νευροφυσιολόγος William Calvin, και το οποίο χρησιμοποιεί ο Jan, είναι σύμφυτο με την ιδέα ότι ο Οικουμενικός Δαρβινισμός, όπως τον έχουμε περιγράψει σε προηγούμενη ενότητα, εφαρμόζεται στον τρόπο συγκρότησης του νευρωνικού δικτύου του ανθρώπινου εγκεφάλου. Έχει διατυπώσει 6 κριτήρια για το σχηματισμό μίας «ιδέας» ως καταγραφόμενη πληροφορία, σε μνήμη, στον ανθρώπινο εγκέφαλο. «1) Πρέπει να περιλαμβάνεται ένα λογικά πολύπλοκο πρότυπο. 2) το πρότυπο πρέπει να μπορεί να αντιγραφεί. Το αντίγραφο πρέπει να υπηρετεί τον προσδιορισμό του προτύπου. 3) παραλλαγές του προτύπου πρέπει σε ορισμένες περιπτώσεις να μπορούν να παραχθούν τυχαία. 4) το πρότυπο και οι παραλλαγές του πρέπει να είναι σε ένα καθεστώς ανταγωνισμού μεταξύ τους. 5) ο ανταγωνισμός αυτός ευνοεί κάποια από αυτά, γιατί γίνεται σε ένα μεροληπτικό πολύπλευρο περιβάλλον (φυσική επιλογή). 6) υπάρχει μία έμμεση τάση επιβίωσης των αναπαραγωγικά ώριμων (περιβαλλοντική επιλογή) ή μια έμμεση τάση διασποράς των επιτυχημένων συντρόφων (σεξουαλική επιλογή): με άλλα λόγια, νέες παραλλαγές συμβαίνουν κατά προτίμηση κοντά στα πιο επιτυχημένα από τα υπάρχοντα πρότυπα». [170]

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι επεξεργασίες του διάσημου Αμερικανού γνωσιακού γλωσσολόγου και φιλοσόφου George Lakoff. Είναι οπαδός της αντίληψης περί «σωματοποιημένης γνώσης» (embodiment cognition), η οποία πρεσβεύει ότι τα γνωσιακά χαρακτηριστικά (υψηλού επιπέδου νοητικές κατασκευές, όπως οι έννοιες, οι κατηγορίες και οι δράσεις, καθώς και οι μηχανισμοί αξιολόγησης και απόφασης) διαμορφώνονται μέσω της λειτουργίας ολόκληρου του σώματος (αισθητικοκινητικό σύστημα) και όχι μόνο του μυαλού.⁷⁹ Η σωματοποιημένη γνώση διακρίνει τρία επίπεδα σωματικότητας. Το πρώτο είναι το νευρωνικό, το οποίο αφορά τον τρόπο με τον οποίο το νευρωνικό σύστημα του εγκεφάλου διαμορφώνει τις έννοιες, τον τρόπο σκέψης και γενικά τις νοητικές διεργασίες. Το δεύτερο είναι το φαινομενολογικό, το οποίο αφορά τον τρόπο συσχέτισης του ανθρώπου με τη συνείδησή του και την αντίληψή του για το περιβάλλον και τον εαυτό του. Το τρίτο είναι το γνωστικό ασυνείδητο, το οποίο

⁷⁸ Τα μουσικά πρότυπα αποθηκεύονται μέσω νευρωνικών προτύπων. Έτσι, συμβαίνει ένας νέος συσχετισμός (mapping).

⁷⁹ Αυτή η προσέγγιση της σωματοποιημένης γνώσης είναι ένα ακόμα παράδειγμα της τρισυπόστατης φύσης (οντοφορία, ενέργεια, ύλη) του ανθρώπου.

συνδέεται με την κατανόηση των εννοιών, τη χρήση της γλώσσας αλλά και τον τρόπο βίωσης των εμπειριών. [171]

Οι σύγχρονες μελέτες έχουν δείξει ότι ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και κωδικοποιούμε τα ερεθίσματα τα οποία δεχόμαστε, αποτελεί έναν μετασχηματισμό από ένα πρότυπο σε άλλο. Ο εγκέφαλος είναι προγραμματισμένος έτσι ώστε να κάνει μία «αναγνώριση προτύπου» και να «διορθώνει» τυχόν αστοχίες στη λειτουργία του προτύπου αυτού. Ασυνείδητα, αλλάζει αυτό το οποίο οι αισθήσεις δέχονται σαν είσοδο, ώστε να ταιριάζει με προϋπάρχουσες εδραιωμένες νευρωνικές δομές, με τρόπο που εν τέλει αυτό το οποίο βλέπουμε, ακούμε, ή αισθανόμαστε με την αφή, δεν είναι ακριβώς αυτό το οποίο έχει δειχθεί, ακουστεί ή ακουμπηθεί, αλλά αυτό το οποίο ταιριάζει σε ένα πρότυπο προϋπάρχουσας κατανόησης. Το φαινόμενο αυτό το ονομάζει «υποσυνείδητη προσαρμογή» (preconscious assimilation). Η εισερχόμενη μέσω των αισθήσεων πληροφορία (όπως για παράδειγμα η γλώσσα, η όραση ή η αφή) αλλάζει μέσα σε 100 milliseconds πριν γίνει συνειδητή αίσθηση, ώστε να ταιριάζει με αυτό που ήδη θεωρείται αναμενόμενο με βάση τον τρόπο που έχει μάθει να κωδικοποιεί τα ερεθίσματα ο εγκέφαλος. [172] Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το φαινόμενο McGurk: ένας ακροατής παρατηρεί έναν ομιλητή να προφέρει τις συλλαβές ba-ba και ga-ga, μετά από κάποιες επαναλήψεις, το βίντεο προβάλλει τον ομιλητή να συλλαβίζει με τα χείλη του τις συλλαβές ga-ga ενώ ακούγονται οι ba-ba. Αυτό που στην περίπτωση αυτή ακούει ο ακροατής είναι οι συλλαβές da-da. [173] Αντίστοιχου τύπου φαινόμενα μελετά ο καθηγητής πειραματικής ψυχολογίας Shinsuke Shimojo και στα οποία αναφέρεται ως «postdictions». [174]

Τις ιδιότητες αυτού του εγκεφάλου εκμεταλλεύεται και η μουσική παραγωγή τόσο στο στάδιο της ηχοληψίας όσο και στο στάδιο της μίξης, ώστε η ακρόαση του τελικού προϊόντος να προσφέρει μία γεμάτη εμπειρία. Το ερευνητικό πεδίο της ψυχοακουστικής έχει να παρουσιάσει πολλά τέτοια παραδείγματα, τα οποία αξιοποιούνται δημιουργικά. Ένα από αυτά είναι το φαινόμενο Haas, με βάση το οποίο, δύο πανομοιότυποι ήχοι, όπως π.χ. οι πρώτες ανακλάσεις, αν ακουστούν με χρονική διαφορά λιγότερη από 35 msec και με διαφορά έντασης λιγότερη από 10dB, τότε δεν ακούμε δύο, αλλά έναν ήχο και το σύστημα ακρόασης του ανθρώπου τους ολοκληρώνει. Αν μία μονοφωνική καταγραφή αναπαραχθεί με μία διαφορά στο χρόνο εκκίνησης και στην ένταση, τότε δημιουργείται η ψευδαίσθηση της στερεοφωνικής καταγραφής. [175] Για να προστατευτεί το σύστημα ακοής σε περιπτώσεις πολύ δυνατών ήχων, οι μυς του έσω αυτιού ακούσια συσπώνται, μειώνοντας τη δυνατότητα τους για μεγάλο εύρος κίνησης, μειώνοντας με τη σειρά τους την ενέργεια η οποία μεταφέρεται μέσω της δόνησης στον κοχλία (όπου η ηχητική δόνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, ώστε να επεξεργαστεί από τον εγκέφαλο). Παρόλο που τα σήματα τα οποία επεξεργάζεται ο εγκέφαλος είναι αναλογικά μειωμένα σε σχέση με το αρχικά έντονο ερέθισμα, ο τρόπος με τον οποίο έχει μάθει να τα μεταφράζει, δίνει την εντύπωση του όντως δυνατού ήχου, στα επίπεδα του αρχικού ερεθίσματος (Middle Ear's Acoustic Reflex). [176] Οι μηχανικοί του ήχου, παίζοντας με τις ιδιότητες της δυναμικής περιβάλλουσας, αξιοποιούν αυτό το φαινόμενο κατά κόρον, όπως σε ηχητικά εφέ στον κινηματογράφο, ειδικά σε περιπτώσεις εκρήξεων, πυροβολισμών, συγκρούσεων κ.λπ. χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος ακουστικής βλάβης του θεατή, αλλά και χωρίς έκπτωση στην αίσθηση της έντασης. Πολλά είναι τα αντίστοιχα παραδείγματα και υπάρχουν σε όλους τους οδηγούς μουσικής παραγωγής και

αποδεικνύουν ότι η αποκλειστικά νευρωνική θεώρηση της μουσικής πρόσληψης και κατανόησης δεν μπορεί να αποτυπώσει το φαινόμενο σε όλο του το εύρος. Πρέπει να συνυπολογισθεί η «σωματοποιημένη γνώση».

Ένας καλός αισθητήρας (θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, επιτάχυνσης κ.λπ.) πρέπει να λειτουργεί αιτιοκρατικά, δηλαδή, σε κάθε ίδια είσοδο να δίνει την ίδια έξοδο, καθώς και το αντίστροφο, δηλαδή, η ίδια έξοδος να συνεπάγεται και ίδια είσοδο. Με αυτή την έννοια, ο άνθρωπος είναι ένας κακός αισθητήρας. Το σύστημα επεξεργασίας της πληροφορίας, την οποία δέχεται ο άνθρωπος, υπακούει στις αρχές της εξελικτικής νευρολογίας. Οι διαμορφωμένες συνάψεις και η μορφή της δικτύωσής τους λειτουργεί σαν φίλτρο το οποίο μετασχηματίζει το σήμα εισόδου. Υπάρχει μία αντιστοιχία του νευρωνικού δικτύου με το αισθητικοκινητικό σύστημα του ανθρώπου («σωματοποιημένη γνώση»). Πέρα από τα παραδείγματα τα οποία έχουν παρατεθεί, ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικό είναι αυτό του Γερμανού ψυχολόγου George Stratton στα τέλη του 19^{ου} αι. Έκλεισε το ένα μάτι του με ένα μαύρο ύφασμα και στο άλλο τοποθέτησε έναν φακό αντιστροφής. Όπως ήταν φυσικό, στην αρχή έβλεπε τα πράγματα ανάποδα. Μετά από κάποιο καιρό όμως, ο εγκέφαλος προσαρμόστηκε και ενώ συνέχιζε να φοράει τον φακό αντιστροφής, έβλεπε τα πράγματα ξανά κανονικά. Όταν έβγαλε το φακό, τότε ξανά, αντιστράφηκε η οπτική του και τα έβλεπε ανάποδα, ώσπου πάλι, μετά από κάποιο καιρό προσαρμόστηκε εκ νέου στην νέα – νέα πραγματικότητα. [177] Έτσι λοιπόν, δεν μπορεί να υπάρξει συσχέτιση του τρόπου με τον οποίο βλέπει ο άνθρωπος τη σχέση του πάνω και του κάτω με την αντεστραμμένη ή μη είσοδο, πράγμα που τον κάνει «κακό αισθητήρα».

Αναφορικά όμως και με τα μουσικά παραδείγματα, ο άνθρωπος, ανάλογα με τις καταχωρήσεις στη μουσική του μνήμη, στην έκθεσή του σε συγκεκριμένα μουσικά πρότυπα, στη μουσική του εκπαίδευση, όταν έρχεται σε επαφή με έναν συγκεκριμένο ήχο τον αποκωδικοποιεί με τρόπο ώστε να ταιριάζει καλύτερα στα πρότυπα στα οποία είναι ήδη μνημένος. Στο παρακάτω παράδειγμα (Εικόνα 2-1) βλέπουμε δύο πανομοιότυπες μικρές συνθέσεις τριών μέτρων. Το μόνο στοιχείο που αλλάζει, είναι ότι στην πρώτη η νότα λα είναι φυσική ενώ στη δεύτερη είναι με ύφεση. Ο οποιοσδήποτε ακροατής αν ρωτιούνταν τι συγχορδία άκουσε στο τρίτο μέτρο, θα έλεγε στην πρώτη περίπτωση Ντο Μείζονα, ενώ στη δεύτερη Ντο Ελάσσονα, παρόλο που θα δέχονταν ακριβώς το ίδιο ερέθισμα στα αυτιά του (τις νότες C4 και C2).



Εικόνα 2-1 Δύο πανομοιότυπες συνθέσεις σε Ντο Μείζονα και σε Ντο Ελάσσονα τονικότητα

Ο τρόπος με τον οποίο το αισθητικοκινητικό σύστημα του ανθρώπου παρέχει πληροφορίες οι οποίες επεξεργάζονται από τον εγκέφαλο είναι πρακτικά ο μετασχηματισμός από ένα πεδίο σε ένα άλλο. Πρόκειται για μετασχηματισμό και όχι απλώς για μία άλλου τύπου απεικόνιση. Σε μία απλού τύπου απεικόνιση θα μπορούσαν να είναι σε λειτουργία και οι δύο διαδρομές από το ένα πεδίο στο άλλο, διατηρώντας την πληροφορία ανέπαφη, απλώς εκφρασμένη διαφορετικά. Στην πράξη αυτό δε συμβαίνει, η πληροφορία μετασχηματίζεται σε μια άλλη μορφή για να δημιουργήσει μια νέα «εντύπωση». Την ιδέα αυτή έχει επεκτείνει ο Lakoff στον τρόπο που σκεφτόμαστε, συγκροτούμε έννοιες και συλλογισμούς, εισάγοντας την ιδέα της «μεταφοράς». Αναφέρει: «Κάθε συμβατική μεταφορά, δηλαδή κάθε mapping, είναι ένα σταθερό πρότυπο νοητικών αντιστοιχίσεων διαμέσου νοητικών πεδίων.» [178] Με άλλα λόγια, πρόκειται για την κατανόηση μιας εννοιολογικής περιοχής με την αρωγή μιας άλλης.⁸⁰ [179]

Όλες οι θεωρίες που έχουν παρουσιαστεί έως τώρα έχουν στον πυρήνα τους κάτι κοινό, ότι ο άνθρωπος έχει αναπτύξει μηχανισμούς καταγραφής μουσικής πληροφορίας, οι οποίοι αποτυπώνονται νευρωνικά. Έτσι λοιπόν είναι ικανός να διακρίνει το γνώριμο, το οικείο, να αναγνωρίζει, να συγκρίνει. Είναι σαν να έχει μία βάση δεδομένων από αποθηκευμένα μουσικά πρότυπα τα οποία παρουσιάζουν συσχετίσεις μεταξύ τους, ταξινομημένα σε ιεραρχικά επίπεδα, και κάθε φορά που δέχεται ένα νέο μουσικό ερέθισμα ακούσια και υποσυνείδητα προσπαθεί να το συσχετίσει με πρότυπα με τα οποία είναι εξοικειωμένος. Έτσι, αναγνωρίζει το μουσικά «σωστό», το φάλτσο, την καινοτομία, την επανάληψη κ.λπ.. Αυτό το οποίο εν τέλει αναγνωρίζει ως μουσική μάλιστα δεν είναι ακριβώς αυτό που ακούει, την αυστηρή απεικόνιση των ηχητικών κυμάτων τα οποία προσλαμβάνει, αλλά αντίθετα το μουσικό περιεχόμενο της δομής αυτής, με έναν αφαιρετικό τρόπο. Δεν τον νοιάζει για παράδειγμα τόσο η ακριβής τονικότητα ή η ενορχήστρωση αλλά το μουσικό πρότυπο ως φορέας μουσικής πληροφορίας. Γιατί άλλωστε αυτό που αποθηκεύει – και λειτουργεί σαν αισθητική αναφορά – είναι επίσης πρότυπο, σε αντίθεση με μία αναλογική (δίσκος βινυλίου) ή ψηφιακή (cd) καταγραφή η οποία αποθηκεύει τον ήχο αυτό καθ' αυτό.

Όμως η μουσική δεν είναι απλώς ένα μέσο έλλογης επικοινωνίας, αλλά συνιστά μία αισθητική διαδικασία η οποία προσβλέπει σε μία τέρψη. Η νευροεπιστήμη δίνει κάποιες πρώτες απαντήσεις στο γιατί η μουσική καταφέρνει να συγκινήσει, να δημιουργήσει έντονα συναισθήματα. Σε μία μουσικά έντονη στιγμή ο εγκέφαλος εκκρίνει τον νευροδιαβιβαστή ντοπαμίνη. Η ντοπαμίνη είναι μία ουσία η οποία εκκρίνεται φυσικά για να δοθεί μία αίσθηση ικανοποίησης, εκπλήρωσης μιας επιθυμίας. Τυπικές περιπτώσεις έκκρισης ντοπαμίνης είναι κατά το φαγητό και την σεξουαλική πράξη. Το πιο ενδιαφέρον όμως είναι ότι απελευθέρωση της ντοπαμίνης δε συμβαίνει όταν η μουσική φτάνει στην έντονη, φορτισμένη στιγμή της, αλλά κάποιες στιγμές νωρίτερα, κατά τη διάρκεια της φάσης «προσμονής». Έρχεται λοιπόν σαν επιβράβευση για την επιβεβαίωση μίας προσδοκώμενης εξέλιξης. Είναι σαν το «δώρο» του οργανισμού προς τον εαυτό του επειδή έχει μάθει να αναγνωρίζει τα μουσικά πρότυπα, αφού είναι ικανός

⁸⁰ Η μεταφορά έχει αυτοσυντηρητική υπόσταση. Επιτρέπει στον εγκέφαλο, στον νου, στον άνθρωπο κατ' επέκταση, να μπορεί να παράξει δράσεις με όσο το δυνατόν λιγότερες νευρωνικές συνάψεις. Με άλλα λόγια, διατηρεί μικρή την εντροπία των πιθανών νευρωνικών διατάξεων, αφού δεν υπάρχει ξεχωριστή νευρωνική ομάδα για κάθε έννοια.

να προβλέπει το πώς θα εξελιχθούν. Με την επιβράβευση αυτή εδραιώνονται ακόμα περισσότερο τα πρότυπα αυτά ως καταχωρημένες πληροφοριακές μνήμες. Έτσι λοιπόν, η αισθητική απόλαυση είναι αποκύημα μιας προσμονής, της εκπλήρωσης μιας μουσικής προσδοκίας. [19] Μισό αιώνα αργότερα, επιβεβαιώνονται οι φιλοσοφικές προσεγγίσεις του Meyer αναφορικά με το ρόλο της προσμονής στη διαμόρφωση μουσικού νοήματος και συναισθήματος. [18]

2.4 Προς μία πληροφοριακή (οντοφορική) ερμηνεία της μουσικής πραγματικότητας

Στην ενότητα αυτή θα αποπειραθούμε να περιγράψουμε τη σύνδεση των θεωριών που παρουσιάζουμε με το φαινόμενο της μουσικής. Έννοιες, όπως οντοφορία, εντροπία, ύλη, ενέργεια, όρια, αυτοσυντήρηση και επικοινωνία, όπως τις έχουμε ορίσει και περιγράψει σε προηγούμενες ενότητες, θα αξιοποιηθούν για τη διερεύνηση του τι είναι «μουσική οντότητα» αλλά και τον τρόπο με τον οποίον αυτή (αλληλοεπι)δρά.

2.4.1 Οι μουσικές οντότητες είναι παράγωγα της οντοφορίας

Το πρωταρχικό ερώτημα στο οποίο πρέπει να απαντήσουμε είναι το τι είναι «μουσική οντότητα». Η 5^η Συμφωνία του Μπετόβεν και η Φραγκοσυριανή του Βαμβακάρη συγκροτούν οντότητες; Τι συμβαίνει με τη μουσική εν γένει, ή κλάδους τους, όπως η Ροκ; Είναι οντότητες ή μήπως είναι κάτι άλλο;

Η φράση η οποία περιγράφει την οντολογική προϋπόθεση είναι η: «έχει όρια άρα υπάρχει». Επομένως, η απάντηση στο ερώτημα του τι συνιστά μουσική οντότητα θα προκύψει από την εξερεύνηση των ορίων. Για να το απαντήσουμε όμως σε αυτό πρέπει να εξερευνήσουμε το ποιες είναι οι υποστάσεις των ορίων των μουσικών οντοτήτων. Οι μουσικές οντότητες είναι αμιγώς οντοφορικές (μόνο οντοφορικό όριο), ενεργειακές (οντοφορικό και ενεργειακό όριο) ή υλικές (οντοφορικό, ενεργειακό και υλικό όριο);

Η μουσική είναι η τέχνη η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αίσθηση της ακοής. Ηχητικά κύματα ταξιδεύουν στον αέρα (συνήθως), καταλήγουν στο αυτί μας και με κάποιους μηχανισμούς μεταφράζουμε αυτό το κύμα ενέργειας σε μουσική. Η διαίσθησή μας μας λέει ότι η μουσική είναι ως εκ τούτου ενεργειακή οντότητα. Αν όμως σκεφτούμε ότι το κύμα αυτό έχει προκύψει από κάποια πηγή, τότε συνειδητοποιούμε ότι το κύμα προέρχεται από μία υλική οντότητα (είτε πρόκειται για κάποιο μουσικό όργανο, είτε για ένα ηχοσύστημα, είτε για έναν άνθρωπο που τραγουδάει). Μήπως τότε οι μουσικές οντότητες είναι υλικές; Η διαίσθησή μας μας παραπλανά. Εν προκειμένω, οι ενεργειακές και υλικές σχέσεις οι οποίες αναφέρθηκαν είναι αναγκαίες για την μετάδοσή της και όχι για τον χαρακτηρισμό μιας μουσικής οντότητας.

Μία μουσική οντότητα είναι αμιγώς οντοφορική. Προϋπόθεση για την ύπαρξη μίας μουσικής οντότητας δεν είναι η επιτέλεσή της. Οι μουσικές οντότητες υπάρχουν ανεξάρτητα από το αν παίζονται. Στη γη, αυτή τη στιγμή, υπάρχει πεπερασμένος αριθμός ηχείων και οργάνων. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι πολλά μουσικά έργα αυτή τη στιγμή παραμένουν απλώς καταχωρημένα σε κάποια μνήμη, δεν παίζονται. Το νανούρισμα της

γιαγιάς μας, ακόμα και αν έχουν παρέλθει οι στιγμές που ήταν κοντά μας, δε θα ξανακουστεί ποτέ (τουλάχιστον με τον τρόπο με το οποίο αυτή το τραγουδούσε). Τι συμβαίνει λοιπόν;

Έχουμε αναφέρει ότι η οντοφορία είναι εκείνη η οποία δίνει τη δυνατότητα δράσεων στις οντότητες. Είναι αυτή η οποία παράγει τα πεδία μέσα στα οποία λαμβάνουν χώρα τα όποια φαινόμενα. Η ύπαρξη ενός πεδίου όμως δε συνεπάγεται υποχρεωτικά δράσεις αλλά εν δυνάμει. Στις μουσικές οντότητες λοιπόν, ακόμα και αν δεν ακούγονται, ή κανείς δεν τις σκέφτεται, ή υπάρχουν απλώς καταχωρημένες στις παρτιτούρες μίας βιβλιοθήκης ή ηχογραφημένες σε μία δισκοθήκη, το πεδίο τους υπάρχει. Επομένως, δύνανται (εν δυνάμει) να δράσουν. Επειδή ακριβώς οι μουσικές οντότητες δημιουργούν μόνο το πεδίο δράσης τους κατατάσσονται στις αμιγώς οντοφορικές οντότητες. Η οντοφορική φύση των μουσικών οντοτήτων θα αναδειχθεί και στα παρακάτω.

Για την αναγνώριση μίας μουσικής οντότητας πρέπει να προσδιορισθεί η ύπαρξη του οντοφορικού της ορίου. Το οντοφορικό όριο περιλαμβάνει τον «χώρο» των εν δυνάμει δράσεων. Ποιες είναι όμως οι δράσεις μιας μουσικής οντότητας; Πρώτα απ' όλα, το όριο των μουσικών οντοτήτων περιλαμβάνει τις περιοχές στις οποίες υπάρχουν τα αντίγραφα της. Τα αντίγραφα αυτά περιλαμβάνουν τις οδηγίες για το χτίσιμό τους, το εγχειρίδιό τους (το πιο διαδεδομένο «εγχειρίδιο» της μουσικής είναι οι παρτιτούρες). Περιλαμβάνουν επίσης τις καταγραφές τους (όλα π.χ. τα cd, κασέτες, βινύλια, usb κ.α.). Επίσης, στο όριό αυτό εμπεριέχονται και οι ανθρώπινοι εγκέφαλοι στους οποίους έχει αποθηκευτεί η μουσική πληροφορία, σε μορφή νευρωνικών συνάψεων. Άλλωστε, κάθε οντότητα για να δράσει πρέπει να πυροδοτηθεί από αντίγραφα της τα οποία βρίσκονται σε κάποια μνήμη. Επίσης, το όριο δεν εντοπίζεται μόνο στους χώρους καταγραφής του (στους χώρους δηλαδή της εν δυνάμει δράσης), αλλά και στους χώρους όπου η δράση ξεφεύγει από μία εν δυνάμει δυνατότητα και γίνεται πράξη, συμβάν, γεγονός. Το μουσικό γεγονός συντελείται κυρίως μέσω της ακρόασης. Επομένως, σε κάθε συναυλιακό χώρο ή σε κάθε μπαρ, δωμάτιο και αυτοκίνητο που ακούγεται ένα μουσικό έργο τότε εκεί έχουμε μία μουσική δράση η οποία παράγεται από την οντοφορία. Μάλιστα, όταν παίζεται ένα έργο, τότε αυτόματα μπαίνει στη διαδικασία παραγωγής αντιγράφων. Τα μουσικά μιμείδια αναζητούν ξενιστές. Κάθε νέος ακροατής που τα ακούει και συγκρατεί τη μουσική πληροφορία την οποία φέρει το μιμίδιο προσφέρει μία νέα καταχώρηση εν μνήμη⁸¹ της μουσικής αυτής οντότητας, διευρύνοντας, με αυτό τον τρόπο, το οντοφορικό όριό της.

Η δράση όμως των μουσικών οντοτήτων ξεφεύγει από τα αμιγώς μουσικά / μουσικολογικά όρια. Κάθε οντότητα εντάσσεται σε ένα ευρύτερο πολιτισμικό πλαίσιο. Η 5^η Συμφωνία του Μπετόβεν, για παράδειγμα, (όπως αντίστοιχα ο Παρθενώνας ή ο Ρωμαίος και η Ιουλιέτα) λειτουργεί σαν σύμβολο και παράγει δράσεις ακόμα και σε ανθρώπους που δεν την έχουν ακούσει ποτέ. Η σημειολογική του διάσταση ξεπερνά, ενδεχομένως, τη μουσικολογική. Δεν είναι τυχαίο ότι και στην εργασία αυτή την έχουμε

⁸¹ Στην ενότητα 2.3 έχουμε αναφέρει ότι η μουσική πληροφορία αποθηκεύεται σε μορφή patterns νευρωνικών διασυνδέσεων. Κάθε φορά που ακούμε κάτι το οποίο μας ασκεί κάποια δύναμη (συναισθηματική ως επί το πλείστον στο φαινόμενο της μουσικής) τα patterns αυτά είτε αναδιαμορφώνονται είτε δημιουργούνται νέα. Σε κάθε περίπτωση, η μιμιδιακή μας δεξαμενή, το οντοφορικό μας όριο με άλλα λόγια, αλλάζει.

αναφέρει ουκ ολίγες φορές, ως το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μίας μουσικής οντότητας. Στον ένα ή τον άλλο βαθμό, κάθε μουσική οντότητα λειτουργεί και με αυτό τον τρόπο. Το μοιρολόι μιας γιαγιάς στην Ήπειρο, το πρώτο τραγούδι που έπαιξε στην κιθάρα ένας εκκολλημένος μουσικός, το κομμάτι που επέλεξε κάποιος για να κάνει πρόταση γάμου στην αγαπημένη του και το τραγούδι πριν τη μάχη είναι κάποια αντιπροσωπευτικά παραδείγματα, τα οποία δεν έχουν τη δημοφιλία των έργων του Μπετόβεν, αλλά δρουν και σε εξωμουσικό επίπεδο με έντονο τρόπο. Δημιουργούν συνειρμούς, ξυπνάνε αναμνήσεις, πλαισιώνουν γεγονότα. Ο Lakoff θα έλεγε ότι λειτουργούν σαν μέσω πλαισίωσης (framing) και ως εννοιολογικά οχήματα τα οποία οδηγούν σε μεταφορές.⁸²

Στους «χώρους» λοιπόν όπου έχει αποθηκευτεί η μουσική οντότητα, αλλά και σε αυτούς που δρα, εντοπίζεται το όριο της. Παράλληλη απόδειξη του ορίου τους είναι ότι έχουν συγκεκριμένο τίτλο, συνθέτη, διάρκεια κ.λπ.. Υπάρχουν συγκεκριμένες ταμπέλες (labels) με τις οποίες ταυτοποιούνται. Επίσης, η ύπαρξη ορίου αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι ο αριθμός των αντιγράφων και ο αριθμός των δράσεων είναι πεπερασμένος. Η 5^η Συμφωνία του Μπετόβεν έχει καταγραφεί σε συγκεκριμένο αριθμό παρτιτούρων, έχει δισκογραφηθεί και παρουσιαστεί σε κοινό συγκεκριμένες φορές, όπως είναι συγκεκριμένοι και οι άνθρωποι που την έχουν ακούσει καθώς και τα έργα τα οποία έχουν επηρεαστεί από αυτή. Ο αριθμός των παραπάνω, λογικά, θα είναι εντυπωσιακά μεγάλος. Δεν παύει όμως να είναι πεπερασμένος.⁸³

Με βάση, λοιπόν, την οντολογική προϋπόθεση «έχει όρια άρα υπάρχει», η 5^η του Μπετόβεν και η Φραγκοσυριανή του Βαμβακάρη μπορούν να χαρακτηριστούν ως (μουσικές) οντότητες. Η μουσική όμως, εν γένει, δεν είναι οντότητα, αλλά έννοια. Η μουσική δεν είναι το σύνολο των έργων τα οποία έχουν γραφτεί. Αυτό το σύνολο έχει ως όριο το όριο όλων των οντοτήτων τις οποίες περιλαμβάνει, επομένως μπορεί να χαρακτηριστεί ως οντότητα. Η δισκογραφία για παράδειγμα των Beatles είναι οντότητα. Αποτελείται από συγκεκριμένα τραγούδια, τα οποία έχουν συμπεριληφθεί σε συγκεκριμένο αριθμό δίσκων και πάει λέγοντας. Η μουσική είναι η εννοιολογική ομπρέλα η οποία πλαισιώνει τα μουσικά φαινόμενα. Λειτουργεί σαν η ταμπέλα η οποία ταυτοποιεί το τι είναι μουσικό και το τι όχι. Είναι ο τίτλος που αποκτούν τα πεδία τα οποία διαμορφώνουν οι μουσικές οντότητες, αλλά δεν έχει πεδίο δικό της. Δεν έχει όριο, επομένως δεν είναι οντότητα. Αντίστοιχα, ενώ η Κοκκινοσκουφίτσα είναι οντότητα, όπως αντίστοιχα και τα παραμύθια του Αισώπου (σε αναλογία με τη δισκογραφία των Beatles), το «παραμύθι» όμως είναι έννοια. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο Πρωθυπουργός της Ελλάδας, ο Πρόεδρος των ΗΠΑ και ο Βασιλιάς της Ισπανίας. Είναι οντότητες, σε αντίθεση με την έννοια «αρχηγός».

⁸² Για τη θεωρία του Lakoff βλ. ενότητα 2.3.

⁸³ Το σύνολο το οποίο ορίζει ένα όριο δεν είναι υποχρεωτικά πεπερασμένο / κλειστό [], αλλά μπορεί να είναι ανοιχτό (), π.χ. να τείνει ασυμπτωτικά σε έναν αριθμό.

2.4.2 Πώς (αλληλοεπι)δρούν οι μουσικές οντότητες;

Αναφέραμε προηγουμένως ότι οι μουσικές οντότητες είναι αμιγώς οντοφορικές. Με ποια διαδικασία όμως δομούνται και πώς αλληλοεπιδρούν; Σχηματικά, μπορούμε να πούμε, ότι η διαδικασία αυτή είναι αμιγώς οντοφορική. Τι σημαίνει όμως αυτό;

Είναι πλέον κοινός τόπος της επιστημονικής κοινότητας η σωματοποιημένη γνώση (embedded cognition). Η καλλιτεχνική δημιουργία είναι κατάθεση ψυχής. Η ψυχή όμως δεν είναι ένα «σύννεφο αδειανό» το οποίο κατοικεί στο σώμα μας, αντίθετα, είναι παράγωγό του. Εκεί έγκειται η έννοια του «embedded». Ο τρόπος με τον οποίο σκεφτόμαστε, νιώθουμε, ονειρευόμαστε, δημιουργούμε, κάθε πνευματική μας δραστηριότητα, όσο γοητευτική και να είναι, παρόλο που μοιάζει «μαγική», δεν είναι. Η μαγεία της μουσικής επ' ουδενί δεν οφείλεται σε έναν απομονωμένο επεξεργαστή νοτών μέσα στο μυαλό μας, ο οποίος παίρνει σαν είσοδο ένα ηχητικό ερέθισμα και παράγει στην έξοδο μία μουσική πρόσληψη. Στην πράξη, τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα. Όταν ακούμε μουσική τότε δεν υπάρχει ένα και μόνο κέντρο του εγκεφάλου το οποίο είναι μπαίνει λειτουργία. Αντίθετα, ένα πολύπλοκο δίκτυο ενεργοποιείται το οποίο περιλαμβάνει τις περιοχές της όρασης, του ελέγχου της κίνησης, του συναισθήματος, του λόγου, της μνήμης και του προγραμματισμού. [180] Ο τρόπος με τον οποίο βιώνουμε τη μουσική δεν οφείλεται μόνο στο τι ακούμε, αλλά και στο τι βλέπουμε, τι προσμένουμε, πώς κινούμαστε και στο άθροισμα των εμπειριών μας.

Ο άνθρωπος λοιπόν αποθηκεύει πολιτισμικές πληροφορίες μέσω σωματοποιημένων διαδικασιών, μέσω πολύπλοκων νευρωνικών δικτύων, τα οποία συνδέονται με την κίνηση του σώματος, την έκκριση ορμονών κ.α.. Αυτές οι σωματοποιημένες κωδικοποιήσεις είναι συνδεδεμένες με μουσικά ακούσματα, τα οποία είναι παράγωγα μιας δομής. Με όρους σημειολογίας, τα σωματοποιημένα patterns συνδέονται με μουσικά σημεία. Αυτή η σύνδεση έχει γίνει επειδή ο άνθρωπος είναι εκτεθειμένος σε ένα πολιτισμικό περιβάλλον, μέσα στο οποίο αλληλοεπιδρά, και λειτουργεί ως ο εν δυνάμει ξενιστής των μουσικών μιμιδίων τα οποία προσλαμβάνει. Με τη διαδικασία αυτή, γίνεται και ο ίδιος μία «μιμιδιακή δεξαμενή», ή, με βάση τη δικιά μας ορολογία, αποκτά οντοφορικό όριο.

Το οντοφορικό αυτό ορίζει το τι αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος ως μουσική, είτε στη διαδικασία της ακρόασης, είτε της σύνθεσης. Ο Μπετόβεν, αν άκουγε ένα σημερινό συγκρότημα ηλεκτρονικής μουσικής, ενδεχομένως να το έβρισκε ηχητικά ενδιαφέρον. Σίγουρα όμως, θα του φαίνονταν τουλάχιστον «περίεργο» και με πολύ δυσκολία θα το ονόμαζε ως «μουσική». Επίσης, ακόμα και τα κατάλληλα εργαλεία να είχε, αποκλείεται να συνθέτετε ένα αντίστοιχο κομμάτι, χωρίς, τουλάχιστον, να έχει ακούσει από πριν κάτι ανάλογο. Ο λόγος είναι ότι η οντοφορία του δεν περιλαμβάνει εκείνες τις οργανώσεις του (ηχητικού) χώρου οι οποίες γεννούν τις οντότητες της ηλεκτρονικής μουσικής.

Το οντοφορικό όριο του συνθέτη του παρέχει τα υλικά με τα οποία θα συνθέσει και τον τρόπο με τον οποίο θα τα επεξεργαστεί. Παρόντες είναι, σαφώς, και οι δύο υπερνόμοι, αυτοί της επικοινωνίας και της αυτοσυντήρησης. Τα αποθηκευμένα μουσικά σημεία, εν είδη αρχετύπων, λειτουργούν ως συνθετική βάση. Τα μουσικά σημεία αυτά είναι από μόνα τους οντότητες, κωδικοποιημένες σε μουσικά patterns. Ο βαθμός παραλλαγής τους, δηλαδή η αλλαγή των ορίων τους, τον οποίο θα επιλέξει ο συνθέτης είναι επικοινωνιακής φύσης. Αντίθετα, ο βαθμός διατήρησής τους, δηλαδή η διατήρηση

των ορίων τους, είναι αυτοσυντηρητικής. Το νέο σημείο το οποίο δημιουργείται αποκτά και την αντίστοιχη δομική υπόσταση η οποία αποτυπώνεται και σε επίπεδο αναπαράστασης / επιλογής νοτών (παρτιτούρας).

Υπενθυμίζουμε, ότι στα μουσικά σημεία υπάρχει ταύτιση σημαίνοντος και σημαινομένου. Αυτή η άποψη επιβεβαιώνεται και από τη διαδικασία την οποία περιγράφουμε. Η «μουσικότητα» (σημαινόμενο) γεννιέται μόνο μέσω της δομής (σημαίνον). Αντίστοιχα, η δομή αυτή υπάρχει μόνο επειδή είναι φορέας μουσικότητας. Η μουσική που μας «αγγίζει» (ανα)διαμορφώνει τα (σωματοποιημένα) patterns στα οποία αποθηκεύεται η μουσική πληροφορία. Από την άλλη, ο λόγος που μας αγγίζει είναι ακριβώς επειδή καταφέρει και αλληλοεπιδρά με τα προϋπάρχοντα patterns. Διακρίνουμε μία κυκλική αιτιότητα. Σχηματικά, αυτή η κυκλική κατάσταση περιλαμβάνει τα σωματοποιημένα patterns τα οποία συνδέονται με τα σημειολογικά μουσικά patterns των οποίων η έκφραση (ανα)διαμορφώνει με τη σειρά της τα σωματοποιημένα patterns όσων τα ακούν.

Συνοπτικά, για το ρόλο των patterns, μπορούμε να αναφέρουμε ότι η δομή τους αποτελεί μία οργάνωση ενός χώρου, είναι ένα «γεωμετρικό» κατασκευάσμα, το οποίο αποτελεί το πεδίο μέσω του οποίου θα συμβούν οι δράσεις. Με άλλα λόγια, αποτελεί την έκφραση της οντοφορίας στο δομικό σκελετό των οντοτήτων. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται σαφές ο λόγος για τον οποίον αναφερόμαστε σε patterns και όχι σε νότες αυτές καθ' αυτές.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι ο συνθέτης και το μουσικό έργο το οποίο έχει κατασκευάσει (και τα δύο οντότητες) μοιράζονται κοινό οντοφορικό όριο. Η μουσική οντότητα δεν είναι παρά ο μετασχηματισμός (τμημάτων) του οντοφορικού ορίου του συνθέτη σε αυτό. Για να μπορέσει να επιδράσει στους ακροατές πρέπει το οντοφορικό όριο του έργου να μπορεί να αλληλοεπιδράσει μαζί τους. Όπως αναφέραμε παραπάνω, πρέπει η οντοφορική δράση του έργου, η οποία δομικά εκδηλώνεται με τη συγκρότηση συγκεκριμένων patterns, να μπορεί να συσχετιστεί με τα αποθηκευμένα embedded pattern του ακροατή. Η ακρόαση δεν είναι παρά ο μετασχηματισμός του οντοφορικού ορίου του έργου στον ακροατή. Η κυκλική σχέση στην οποία αναφερθήκαμε επανεμφανίζεται. Σχηματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο τρόπος δόμησης των patterns είναι αντικείμενο της σημειολογίας ενώ ο τρόπος διάδοσής (μετασχηματισμού) τους της μιμιδιακής επιστήμης. Πιο απλά, το μιμίδιο είναι το φέρον του σημείου.

Ο πολιτισμός είναι εν γένει αλληλεπίδραση οντοφορικών ορίων. Για να επικοινωνήσει όμως κάποιος (μιμιδιακά) μία ιδέα πρέπει κάπως να την αναπαράγει. Στη μουσική, κύριος τρόπος αναπαραγωγής είναι η ακρόαση. Η οντοφορία του έργου έχει καταγραφεί στην παρτιτούρα. Την παρτιτούρα τη διαβάξει ο μουσικός (ο οργανοπαίκτης, ο μαέστρος κ.λπ.) και την αποδίδει. Πρόκειται και πάλι για αλληλεπίδραση του οντοφορικού ορίου του έργου και του μουσικού, μέσω της παρτιτούρας. Τα μουσικά σημεία, ως patterns, του μουσικού έργου μετασχηματίζονται σε patterns συμβόλων (συνηθέστερα νοτών, αλλά δεν είναι ο κανόνας, υπάρχουν, για παράδειγμα και γραφικές παρτιτούρες) σε ένα σύστημα σημειογραφίας. Από τη μία οργάνωση του χώρου (οντοφορία) οδηγούμαστε στην οργάνωση ενός άλλου χώρου. Ο μετασχηματισμός αυτός όμως δεν είναι 1 προς 1. Το πληροφοριακό περιεχόμενο του έργου, οι ιδιότητές του όπως επιβάλλονται από την οντοφορία του, δεν μπορούν να αποτυπωθούν με ακρίβεια στο σύστημα σημειογραφίας.

Επιτελείται μίας μορφής «απωλεστική συμπίεση» (lossy compression). Από το έργο οδηγείται στην παρτιτούρα, από την παρτιτούρα όμως δεν οδηγείται απόλυτα στο έργο, αλλά σε μία ερμηνεία του. Ο οργανοπαίκτης λοιπόν συνηθέστερα λέγεται ερμηνευτής. Ο λόγος είναι ότι η παρτιτούρα περιέχει οδηγίες, τις οποίες αυτός καλείται να αποκωδικοποιήσει και με βάση αυτές να αναπαράγει.

Οι βαθμοί ελευθερίας στην ερμηνεία της απόδοσης του έργου εμπεριέχονται οντοφορικά στο ίδιο το έργο. Πριν το σύγχρονο πιάνο, για παράδειγμα, τα αντίστοιχα ηλεκτροφόρα δεν επέτρεπαν την απόδοση μεγάλου εύρους δυναμικής, κάτι το οποίο το σύγχρονο πιάνο επιτρέπει.⁸⁴ Επομένως, τα προγενέστερα όργανα επέβαλαν ένα έργο το οποίο θα αποκτήσει αισθητική αξία από τη γεωμετρική, μαθηματική του φόρμα, την πολύπλοκη ύφανση της δομής. Τέτοια ήταν τα έργα μέχρι την εποχή του μπαρόκ (όπως αυτά του Μπαχ). Η σημειογραφία σε αυτά ήταν αρκετά ακριβής, γιατί ο εκτελεστής έπρεπε απλώς να αναπαράγει (σχεδόν σα μηχανή) τις σωστές νότες στο σωστό τέμπο. Όταν όμως οι επιλογές στη δυναμική έδωσαν τη δυνατότητα των χρωματισμών, τότε η ανάγκη για ακριβή απόδοση των οδηγιών της παρτιτούρας μετριάστηκε. Με μεταβατικό στάδιο τον κλασικισμό και με κορύφωση τον ρομαντισμό, οι οδηγίες του συνθέτη στην παρτιτούρα έγιναν περισσότερο προσεγγιστικές. Έδιναν μία περισσότερο προσεγγιστική «αίσθηση» της ερμηνείας, παρά μία σαφή ακριβή οδηγία. Ποιος μπορεί άραγε με μαθηματική ακρίβεια να ορίσει το «espressivo» (εκφραστικά) το οποίο χρησιμοποιεί κατά κόρον ο Chopin; Η νέα σχέση έργου – παρτιτούρας εκφράζει μία συμπίεση πληροφορίας ακόμα περισσότερο απωλεστική σε σχέση με το μπαρόκ. Η αυτοσυντήρηση των έργων του Chopin είναι μικρότερη από αυτή του Bach. Όσο περισσότερη ελευθερία υπάρχει στην ερμηνεία, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση της αλλαγής των (οντοφορικών) ορίων του μουσικού έργου.

Απωλεστική είναι όχι μόνο η σχέση του μετασχηματισμού του έργου σε παρτιτούρα αλλά και της παρτιτούρας σε ερμηνεία. Με άλλα λόγια, άλλα «είχε στο κεφάλι» του ο συνθέτης, άλλα λέει η παρτιτούρα και άλλα εν τέλει ακούγονται μετά την ερμηνεία του μουσικού. Ο συνθέτης αυτό το γνωρίζει, επομένως, οργανώνει το υλικό του με τρόπο ώστε η τελική απόδοση να είναι όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτό που είχε στο μυαλό του. Η «συγκράτηση» αυτή του συνθέτη είναι αυτοσυντηρητικής φύσης.

Όσον αφορά την παραπάνω παράγραφο, οι διάφορες ακουσματικές εκδοχές μίας μουσικής οντότητας, λογικά, πρέπει να μοιάζουν μεταξύ τους. Το «Χριστός Ανέστη» είτε ακούγεται στη Μητρόπολη από πολυπληθή χορωδία ψαλτάδων, είτε σε ένα χωριό από το ποιμνίο, έχει πάντα κοινά στοιχεία, τα οποία το καθιστούν αναγνωρίσιμο. Κάθε άκουσμά του το ταυτοποιεί, παρά τις όποιες διαφορές στην ακρόαση. Με αυτό το σκεπτικό λειτουργούν όλες οι εφαρμογές αναγνώρισης κομματιών. Καταγράφεται με μία συσκευή, συνηθέστερα το κινητό, ένα απόσπασμα από ένα άκουσμα και αυτό συσχετίζεται με καταχωρημένα αποσπάσματα. Αν ο βαθμός συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από ένα κατώφλι τότε γίνεται σύνδεση του ηχογραφημένου αποσπάσματος με το καταχωρημένο. Ο βαθμός συσχέτισης (correlation) των διάφορων εκδοχών των μουσικών οντοτήτων πρέπει να είναι υψηλός.

⁸⁴ Το σύγχρονο πιάνο λέγεται αλλιώς και φόρτε πιάνο, το οποίο μεταφράζεται ως δυνατά – ήσυχα. Η ονομασία αυτή προδίδει τη νέα ιδιότητα την οποία έφερε.

Η σαφήνεια στις οδηγίες ερμηνείας ενός έργου συσχετίζονται με την εντροπία του. Όταν οι οδηγίες είναι εξαιρετικά σαφείς, τότε όλες οι ερμηνείες θα είναι (σχεδόν) πανομοιότυπες. Οι εφαρμογές αναγνώρισης κομματιών θα «κάνουν εύκολα τη δουλειά τους». Η εντροπία τους θα είναι χαμηλή γιατί δε θα υπάρχουν διαφορετικές διατάξεις. Δε θα διακρίνεται εύκολα η μία ερμηνεία από την άλλη.⁸⁵

Στη σύγχρονη μουσική όμως, υπάρχουν έργα, κυρίως αλγοριθμικής και αλεατορικής μουσικής, τα οποία, εκ κατασκευής (δηλαδή λόγω οντοφορίας), δίνουν πολλαπλά περιθώρια ερμηνείας. Ίσως το πιο δημοφιλές είναι το 4:33 του John Cage, στο οποίο ο μαέστρος απλώς σηκώνει την μπαγκέτα του για να υποδηλώσει την έναρξη του κομματιού και μετά από 4' και 33'' την κατεβάζει για να υποδηλώσει τη λήξη. Το μουσικό έργο είναι το ηχητικό οικοδόμημα που προκύπτει από τις αντιδράσεις του κοινού, λόγω της «απρόσμενης», περίεργης και αλλόκοτης στιγμής. Το ηχητικό σύμπαν διαμορφώνεται από τους ψιθύρους, το βήχα, τα γελάκια, του «σούρσιμο» στην καρέκλα κ.λπ.. Όπως είναι προφανές, σε κάθε επιτέλεση του έργου αυτού, η ηχητική πραγματικότητα είναι διαφορετική. Το έργο αυτά παράγει πολλαπλές ηχητικές διατάξεις, αυξάνοντας την εντροπία του. Ο βαθμός συσχέτισης κάθε επιτέλεσης είναι μικρός και πολύ δύσκολα, αν όχι αδύνατα, μία εφαρμογή αναγνώρισης του κομματιού θα μπορούσε να συμπεράνει ότι πρόκειται για το εν λόγω έργο.

Ο βαθμός συσχέτισης λοιπόν, ο οποίος συνδέεται με την εντροπία, προκύπτει από το πόσο «επικοινωνιακό» ή «αυτοσυντηρητικό» είναι το κομμάτι. Όσο περισσότερο επικοινωνιακό είναι, τόσο περισσότερο έχει την τάση να αλλάζει τα όρια του. Άρα να παίρνει διαφορετικές μορφές και να (αλληλεπι)δρά αντιστοίχως με διαφορετικό τρόπο. Το αντίθετο συμβαίνει με τα αυτοσυντηρητικά έργα.

Στο κεφάλαιο 1.4 αναφέραμε ότι η οντοφορία είναι άχρονη. Όπως περιγράψαμε και πρωτύτερα, οι μουσικές οντότητες είναι αμιγώς οντοφορικές. Μάλιστα, υφίστανται ως οντότητες ακόμα και όταν δεν εκτελούνται. Το γεγονός αυτό προδίδει, κατά μία έννοια, τον άχρονο χαρακτήρα της οντοφορίας. Αυτό το οποίο παρέχει η οντοφορία είναι η «συνταγή» μέσω της οποίας θα προκύψει η μουσική οντότητα. Παρέχει, με άλλα λόγια, τους δείκτες (indexes) μέσω των οποίων θα ξεδιπλωθούν τα μουσικά γεγονότα. Μία παρτιτούρα, για παράδειγμα, αποτελείται από νότες, στις οποίες προσδιορίζεται το τονικό ύψος και η διάρκεια (μισό, ολόκληρο, τέταρτο, παρεστιγμένο κ.λπ.). Ας σκεφτούμε τα ηχήματα αυτά σαν «κουτιά». Η οντοφορία είναι αυτή η οποία ορίζει τη δομή του περιεχομένου σε κάθε κουτί αλλά και τον τρόπο συναρμολόγησής τους (τη χρονική τους διαδοχή). Η οντοφορία λοιπόν είναι κατατεθειμένη σε μνήμη. Αυτή η μνήμη μπορεί να είναι οι οδηγίες μίας παρτιτούρας, οι αυλακώσεις ενός βινυλίου, η διαδοχή από bits σε ένα ψηφιακό μέσο καταγραφής (π.χ. usb, σκληρός δίσκος), ή η γεωμετρία των νευρωνικών συνάψεων στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

⁸⁵ Η σύνδεση της εντροπίας με τον αριθμό των διατάξεων ως μέτρο σύγκρισης και συσχέτισης παρουσιάζεται στο παρακάτω απόσπασμα: «Ας υποθέσουμε ότι η εταιρία BMW βελτιώνει τον ποιοτικό της έλεγχο σε βαθμό ώστε κάθε αυτοκίνητο που εξέρχεται από τη γραμμή παραγωγής να είναι πανομοιότυπο με κάθε άλλο. Με άλλα λόγια, υποθέτουμε ότι υπάρχει μία και μόνο μία διάταξη ατόμων αποδεκτή ως γνήσια BMW. Ποια θα είναι η εντροπία της; Η απάντηση είναι μηδέν. Δεν θα υπάρχει καμία απολύτως αβεβαιότητα για καμία λεπτομέρεια όταν η BMW θα προβάλει από τη γραμμή παραγωγής. Όταν προσδιορίζουμε μία μοναδική διάταξη, δεν υπάρχει καθόλου εντροπία». [4]

Όταν η οντοφορία εν μνήμη αλληλοεπιδρά με τον μουσικό και το όργανό του, ή με ένα ηλεκτρονικό σύστημα αναπαραγωγής (π.χ. στερεοφωνικό ή mp3 player), τότε η άχρονη οντοφορία οργανώνεται και ξεδιπλώνονται τα ηχητικά συμβάντα. Έχουμε ροή πληροφορίας, εν προκειμένω στις μουσικές οντότητες γραμμική. Είναι η περίπτωση στην οποία η οντοφορία αξιοποιεί τα στρώματα πυκνότερης υφής της για να δράσει (Ενότητα 1.4.5).

Όταν έχουμε ροή ενέργειας, τότε αυτή συνδέεται με τη ροή πληροφορίας σε ένα μέσο, όπως περιγράφεται στο τηλεπικοινωνιακό μοντέλο του Shannon. Από τις εν δυνάμει «συνταγές» τις οποίες παρέχει η οντοφορία, η οντότητα ξεδιπλώνεται χρονικά (unfolding) και αποκτά έκφραση. Με αυτό τον τρόπο αναδεικνύονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες της οντότητας. Γίνεται, κατά μία έννοια, φορέας πληροφορίας.

Στην ενότητα 1.4.6 αναπτύξαμε τους λόγους για τους οποίους η οντοφορία λειτουργεί σα σήμα ελέγχου. Στην πράξη, αυτό που συμβαίνει μέσω της αλληλεπίδρασης οντοφορικών ορίων είναι οι αναδιαμορφώσεις των πεδίων που ορίζουν τις δράσεις των οντοτήτων. Η αλληλεπίδραση οντοφορικού ορίου επιβάλλει, de facto, νέες οργανώσεις και συγχρονίζει διαδικασίες. Ίσως τα πολιτισμικά φαινόμενα στα οποία εμπλέκεται η μουσική να είναι από τα περισσότερο αντιπροσωπευτικά.

Στους χώρους στους οποίους λαμβάνει χώρα μία μουσική επιτέλεση παρατηρείται η οργάνωση της διάταξης των ακροατών στο χώρο αυτό. Η μουσική, μέσω των μουσικών ή «εξω-μουσικών» ιδιοτήτων της, επιβάλλει το αν οι ακροατές θα είναι καθιστοί ή όρθιοι, αν θα είναι όλοι στραμμένοι προς μία σκηνή, αν θα είναι στατικοί ή αν θα χορεύουν, τον τρόπο κίνησής τους. Για να είμαστε πιο σαφείς, η αλληλεπίδραση του οντοφορικού ορίου των συμμετεχόντων με αυτό ενός μουσικού κομματιού του είδους του καλαματιανού επιβάλλει την κυκλική χορευτική διάταξη, του είδους του τανγκό τη διάταξη σε ζεύγη, ενώ του ζεϊμπέκικου τον μονήρη χορό.

Η οντοφορία έχουμε πει ότι παρέχει συνταγές. Η αλληλεπίδραση οντοφορικού ορίου είναι σα να δίνεις σε έναν άνθρωπο ένα βιβλίο με μαγειρικές συνταγές. Ανάλογο με το γλωσσικό και μαγειρικό του υπόβαθρο θα παράξει μιας μορφής φαγητό. Ενδέχεται, για παράδειγμα, το βιβλίο με τις συνταγές να είναι γραμμένο σε γλώσσα την οποία δε μιλάει ο άνθρωπος που του δόθηκε, ή να περιέχει πρώτες ύλες στις οποίες δεν έχει πρόσβαση. Επομένως, διαφορετικά θα «αλληλοεπιδράσει» με τον καθένα. Έτσι συμβαίνει και με τα μουσικά έργα. Είναι φορείς οντοφορικού ορίου, άρα όταν επικοινωνούνται, de facto επηρεάζουν. Ο τρόπος επιρροής έχει να κάνει με το οντοφορικό όριο του αποδέκτη. Ένα σκυλί δε θα χορέψει καλαματιανό, όμως μπορεί να το παρατηρήσουμε να ηρεμεί στο άκουσμα των νυχτερινών του Chopin. Αντίστοιχα, πολλοί καλλιεργητές στα θερμοκήπιά τους βάζουν μουσικές για να επιδράσουν στην ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά δε θα συγκινηθούν από ένα μοιρολόι. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι η οντοφορία της μουσικής οντότητας για να δράσει αξιοποιεί την ενέργεια. Η οντοφορία λοιπόν επιβάλλει την οργάνωση ηχητικών κυμάτων (ενέργειας) τα οποία με κάποιους κατάλληλους αισθητήρες τα φυτά μπορούν να «αισθανθούν». Η οντοφορική αλληλεπίδραση των φυτών με τα μουσικά έργα είναι πολύ διαφορετική από των ανθρώπων, όμως υπάρχει. Επειδή λοιπόν η αλληλεπίδραση οντοφορικού ορίου επιβάλλει νέες οργανώσεις, γι' αυτό λέμε ότι λειτουργεί σα σήμα ελέγχου.

Ο έλεγχος όμως ασκείται και κατά τη διαδικασία δόμησης μίας μουσικής οντότητας. Όπως το οντοφορικό μουσικό σήμα επιβάλλει οργανώσεις ανθρώπων (π.χ. όταν χορεύουν), αντίστοιχα, επιβάλλει οργανώσεις στα μέρη του ανθρώπινου σώματος (κυρίως του εγκεφάλου), στα οποία αποθηκεύεται και επεξεργάζεται η μουσική πληροφορία. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο θα επαναδιαταχθούν οι οργανώσεις αυτές, αλλάζει και ο τρόπος πρόσληψης, αντίληψης και επεξεργασίας της μουσικής πληροφορίας, αλλάζει επομένως και ο τρόπος σύνθεσης της μουσικής.

Το οντοφορικό περιεχόμενο μίας οντότητας καταφέρνει να αλληλοεπιδρά (άρα και να ασκεί έλεγχο) ακόμα και όταν είναι κατατεθειμένο σε μνήμη. Όταν ένας κυνηγός δει στο βουνό μία πατημασιά από ένα αγριογούρουνο θα καταλάβει ότι βρίσκεται όντως σε καλό «λημέρι». Η πατημασιά είναι κατάθεση σε μνήμη της οντοφορίας του ζώου. Μέσω αυτής αναδιπλώνονται τα χαρακτηριστικά, οι ιδιότητες του ζώου, επομένως καταλαβαίνουμε αν πρόκειται για αγριογούρουνο ή ελάφι. Μέσω της αξιολόγησης των ιδιοτήτων οι οποίες είναι αποθηκευμένες σε μνήμη συμβαίνει μίας μορφής έμμεση αλληλεπίδραση. Η αλληλεπίδραση είναι έμμεση γιατί δεν επιδρά το ζώο αυτό καθ' αυτό, αλλά ένας ενδιάμεσος κόμβος.

Η μουσική, μόνο τα τελευταία 100 περίπου χρόνια έχει εμπλουτιστεί με τη δυνατότητα της ηχογράφησης. Η ηχογράφηση είναι ο πιο ασφαλής τρόπος ανάκτησης της αποθηκευμένης πληροφορίας (των ιδιοτήτων δηλαδή) μιας ηχητικής οντότητας. Η παρτιτούρα είναι μία άλλη μέθοδος καταχώρησης σε μνήμη της μουσικής πληροφορίας. Η ανάκτησή της όμως προϋποθέτει τη δυνατότητα αποκωδικοποίησης των συμβόλων τα οποία χρησιμοποιούνται. Η αρχαιολογία εξετάζει μια σειρά από καταχωρήσεις σε μνήμη της μουσικής πληροφορίας. Τοιχογραφίες, ευρήματα σε ανασκαφές, κυρίως σε τάφους, αναφορές στη γραμματεία της εποχής κ.α.. Για να μπορέσει να αποδοθεί μουσικά κάποιο εύρημα (π.χ. ο Επιτάφιος του Σείκιλου, το οποίο θεωρείται ως το αρχαιότερο γνωστό κομμάτι) γίνονται εκτιμήσεις για τον τρόπο αλληλεπίδρασης του κομματιού (στο οποίο δεν έχουμε απευθείας πρόσβαση αλλά μόνο μέσω της αποθηκευμένης πληροφορίας του στο εκάστοτε αρχαιολογικό εύρημα), με την οντοφορία των υπόλοιπων στοιχείων τα οποία συμμετέχουν στη μουσική επιτέλεση (όργανα, χώροι, άνθρωποι κ.λπ.).

2.4.3 Συμμετρία, αιτιότητα και εντροπία: τα μέσα για την ανάδυση του μουσικού νοήματος

Στο μνημειώδες έργο του «Emotion and Meaning in Music» ο Meyer [18] επιχειρεί να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο ένα ηχητικό οικοδόμημα γίνεται φορέας συναισθήματος και μουσικού «νοήματος». Ακροθιγώς, μπορούμε να αναφέρουμε, ότι η απάντηση στο παραπάνω βρίσκεται σε ένα παιχνίδι μεταξύ προσδοκώμενου και απροσδόκητου. Κάθε ακροατής, με βάση τις μουσικές του εμπειρίες, έχει μία αίσθηση του τι μπορεί να ακολουθήσει κατά την ακρόαση. Η αίσθηση αυτή άλλοτε επιβεβαιώνεται και άλλοτε καταρρίπτεται. Στην ενότητα αυτά θα αποπειραθούμε να αναζητήσουμε τους όρους του παιχνιδιού αυτού μέσω των εννοιών της συμμετρίας, της αιτιότητας και της εντροπίας, έννοιες συνδεδεμένες με τον πυρήνα της φιλοσοφίας της πληροφορίας.

Στο σημείο αυτό θα κάνουμε μία μικρή, αλλά αναγκαία ανακεφαλαίωση. Το βασικό μέλημα της φιλοσοφίας της πληροφορίας είναι να απαντήσει στο ποια είναι η φύση της

πραγματικότητας. Από την εποχή της κβαντομηχανικής επανάστασης και έπειτα έχει γίνει σαφές ότι η πραγματικότητα αναδύεται μέσα από την «παρατήρηση», μέσω της οποίας προκύπτουν οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων. Ενώ, στην πραγματικότητα, κανείς δεν έχει δει με μάτια του το σωματίδιο φωτόνιο, γνωρίζουμε ότι υπάρχει με βάση τον τρόπο που αλληλοεπιδρά. Μάλιστα, μπορούμε να εντοπίσουμε τα επιμέρους χαρακτηριστικά του. Οι ιδιότητες μέσω των οποίων διακρίνουμε τη μία οντότητα από την άλλη είναι επί της ουσίας η «πληροφορία» τους. Μέσω αυτών των ιδιοτήτων οι οντότητες είναι ικανές να παράγουν δράσεις. Οι ιδιότητες ενός αντικειμένου που προκύπτουν από τη μάζα του επιβάλλουν την καμπύλωση του χωροχρόνου, με βάση τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Οι οντότητες λοιπόν περιγράφονται από τις ιδιοτήτες τους. Θα μπορούσαν να παραλληλιστούν με τις παραμέτρους ενός συστήματος, οι τιμές των οποία διαμορφώνουν την κατάστασή του. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να προσδιορισθούν με απαντήσεις δυαδικού τύπου (ναι / όχι). Για παράδειγμα, είναι το σπιν ενός ηλεκτρονίου συν; Είναι τα αυτιά του σκύλου πεταχτά; Είναι η νότα αυτή κοντά στην περιοχή των 440Hz; Από τις ιδιότητες αυτές προκύπτει και ο τρόπος αλληλεπίδρασης. Μάλιστα, αφού η πραγματικότητα προκύπτει μέσω της παρατήρησης, η απάντηση σε αυτές τις ερωτήσεις διαμορφώνει τους όρους συγκρότησης των οντοτήτων. Αυτό εκφράζεται εύστοχα από το διάσημο ρητό του Wheeler «it from bit». Ο τρόπος με τον οποίον οι οντότητες αποκτούν ιδιότητες (άρα πληροφορία) προκύπτει από την οντοφορία.

Με τις παραπάνω θεωρήσεις συνδέεται και η άποψη του Bateson [58] σχετικά με την οποία η πληροφοριακή μονάδα είναι μία διαφορά η οποία δύναται να παράξει διαφορές. Σε αυτή συμπυκνώνεται τόσο η δυαδική φύση της πληροφοριακής μονάδας (bit) όσο και ότι είναι προϋπόθεση για τη δράση. Δράση είναι, άλλωστε, η παραγωγή διαφορών, αφού για να εντοπιστεί πρέπει να παρατηρηθούν αλλαγές (διαφορές). Για παράδειγμα, διαφορετικά αλληλοεπιδρά ένα ηλεκτρόνιο με θετικό σπιν από ότι ένα με αρνητικό.⁸⁶ Ποιες διαφορές όμως παρατηρούνται στη μουσική; Μία προφανής διαφορά είναι η ύπαρξη ή όχι νότας. Μια άλλη, εξ ορισμού δυαδικής φύσης, είναι σε μία ψηφιακή ηχογράφιση, η τιμή 0 ή 1 κατά τη δειγματοληψία. Η ύπαρξη όμως νότας ή η τιμή του bit της ψηφιακής ηχογράφησης δεν είναι από μόνα τους μουσική. Όπως αντίστοιχα, ένας κόκκος αλάτι, ένα – καταχρηστικά – bit πληροφορίας της ιδιότητας «αλμυρό», δεν είναι φαγητό, ή όπως ένα γράμμα της αλφαβήτου δεν είναι λέξη.

Η ανάπτυξη μουσικού νοήματος έχει ως προϋπόθεση τη διαφορά μεταξύ δύο ηχημάτων τόσο στον οριζόντιο άξονα του χρόνου (μελωδία) όσο και στον κάθετο (συγχορδία). Ούτε όμως η διαφορά αυτή είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη για τη διαμόρφωση μίας μουσικής οντότητας, με διαφορές, οι οποίες να της δίνουν μουσικές ιδιότητες και να την καθιστούν ικανή να παράξει τις δράσεις που το φαινόμενο της μουσικής ορίζει. Η μικρότερη αυτή μουσική πληροφοριακή μονάδα είναι το «μουσικό σημείο», το οποίο έχουμε περιγράψει αναλυτικά στην ενότητα Κεφάλαιο 2. Η διαφορά λοιπόν η οποία δύναται να παράξει διαφορές είναι, για τη μουσική, η αναγνώριση από

⁸⁶ Το σπιν του ηλεκτρονίου είναι οντοφορικό χαρακτηριστικό, αφού δύο ηλεκτρόνια με διαφορετικά σπιν έχουν ίδια ενέργεια και ύλη. Δρουν όμως διαφορετικά. Όπως διαφορετικά δρουν δύο ακριβώς πανομοιότυπες κεραίες με διαφορετικό προσανατολισμό. Ο προσανατολισμός της κεραίας είναι και αυτός οντοφορικό χαρακτηριστικό.

έναν (εν δυνάμει)⁸⁷ ακροατή ενός ηχητικού pattern το οποίο ο ίδιος το έχει συσχετίσει με τη μουσική.⁸⁸ [181] Η βασική διαφορά η οποία παράγει διαφορές είναι λοιπόν η ύπαρξη ή όχι ενός μουσικού pattern.

Έχουμε αναφερθεί εκτενώς στο ρόλο των μουσικών patterns ως βασικές δομικές μονάδες συγκρότησης των μουσικών οντοτήτων. Είναι, πρακτικά, οι μικρότερες δυνατές μουσικές οντότητες. Έχουν το δικό τους όριο και παράγουν αυτοτελώς δράσεις. Αν προσπαθήσουμε να τις παραλληλίσουμε π.χ. με ένα σαλόνι, το κάθε μουσικό pattern είναι το ανάλογο ενός αυτόνομου επίπλου. Ενώ κάθε διαφορετικό ήχημα⁸⁹ το οποίο συγκροτεί το pattern είναι το ανάλογο της κάθε βίδας, της κάθε σανίδας και πάει λέγοντας. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι το πολιτισμικό κβάντο. Όπως λοιπόν, η κβαντομηχανική εξετάζει τις μικρότερες δυνατές αυτόνομες μονάδες υλο-ενέργειας, αντίστοιχα, τα κβάντα της μουσικής επιστήμης είναι τα μουσικά patterns.

Κάθε μουσική οντότητα είναι μία άρθρωση, μία συναρμολόγηση μουσικών pattern. Σε μία ηχητική ροή αυτό που εξετάζεται είναι το πότε και το πώς συμβαίνει η αλλαγή από το ένα pattern στο άλλο. Παράλληλα όμως εξετάζεται και το πώς αξιοποιείται το κάθε pattern. Γνωρίζουμε ότι η φόρμα σονάτα στηρίζεται στο σχήμα «έκθεση – ανάπτυξη – επανέκθεση». Η επανέκθεση είναι μία τροποποίηση της έκθεσης, δεν είναι ανεξάρτητο αυτόνομο πρωτότυπο υλικό. Αντίστοιχα, ολόκληρη η φούγκα δομείται πάνω σε ένα θέμα (και στο αντίθεμά του). Την ίδια στιγμή και τα περισσότερα γνωστά μας τραγούδια στηρίζονται στη σχέση κουπλέ και ρεφρέν. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις βλέπουμε ότι κάτι είναι σταθερό και κάτι αλλάζει. Μέσω αυτής της σχέσης αποκτούν οι μουσικές οντότητες συνοχή. Κάποια αυτόνομα τμήματα του μουσικού υλικού επαναχρησιμοποιούνται είτε ατόφια και απaráλλακτα, είτε τροποποιημένα. Παρά τις τροποποιήσεις όμως διατηρείται η ραχοκοκαλιά τους, αναγνωρίζεται η προέλευσή τους. Το πρωταρχικό πρότυπο, το οποίο χρησιμοποιείται ως βάση για τροποποιήσεις, αποκτά επομένως αρχετυπικό χαρακτήρα. Στην ενότητα 2.2 αναδείξαμε τον τρόπο με τον οποίο η παραδειγματική σημειωτική ανάλυση χωρίζει το μουσικό υλικό σε ομάδες «παραδειγμάτων» και η μιμιδιακή επιστήμη σε ομάδες «συν-ισοδυνάμων». Και οι δύο μεθοδολογίες ακολουθούν, ουσιαστικά, τον ίδιο δρόμο. Αφού τεμαχικοποιήσουν το μουσικό συνεχές με διάφορες μεθόδους, εξετάζουν τις κοινές ιδιότητες των τεμαχίων αυτών. Με βάση τις κοινές αυτές ιδιότητες αποφαινόνται για το κατά πόσον πρόκειται για παραλλαγή ενός pattern που έχει ήδη εντοπιστεί ή αν πρόκειται για κάποιο καινούριο. Έτσι, προκύπτουν οι ομαδοποιήσεις αυτές. Τα patterns εντοπίζονται σε όλα τα στρώματα συγκρότησης ενός μουσικού έργου, τόσο σε επίπεδο μικροδομής (θέμα, μοτίβο κ.λπ.) όσο και μακροδομής (π.χ. φόρμα σονάτα, ροντό κ.λπ.).

⁸⁷ Αναφερόμαστε σε εν δυνάμει ακροατή, γιατί οι μουσικές οντότητες δεν τίθενται όλες υποχρεωτικά υπό την κρίση ακροατών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο μοναχικός αυτοσχεδιασμός ενός πιανίστα, χωρίς κοινό, αποκλειστικά για την προσωπική του τέρψη.

⁸⁸ Ανάλογα το πολιτισμικό του υπόβαθρο (το οντοφορικό όριό του) ο κάθε άνθρωπος κάποια ηχητικά οικοδομήματα τα συσχετίζει με τη μουσική και άλλα όχι. Για παράδειγμα, ένα σύνθημα σε μία πορεία για τον περισσότερο κόσμο δεν νοείται μουσική. Αντίστοιχα, για κάποιους πολιτισμούς η εικόνα ενός πιάτου με έντομα μπορεί να συσχετισθεί με φαγητό ενώ για άλλους όχι.

⁸⁹ Συνειδητά αναφερόμαστε σε ηχήματα και όχι νότες, γιατί δεν είναι όλα τα είδη μουσικής γραμμένα στις γνωστές μας νότες του καλώς συγκερασμένου συστήματος. Ο Ξενάκης, για παράδειγμα, δε χρησιμοποιούσε καν αυτόνομους μουσικούς φθόγγους, αλλά «ηχητικές μάζες».

Για παράδειγμα, από την πρώιμη πολυφωνία έχουν καθιερωθεί τα είδη μίμησης μιας φωνής (ευθεία κίνηση, αναστροφή – καθρέφτης, καρκίνος, αναστροφή καρκίνου, μεγέθυνση, σμίκρυνση), μία διαδικασία η οποία συνιστά την παραλλαγή ενός αρχετυπικού μουσικού pattern.

Η ταξινόμηση σε ομάδες pattern προκύπτει μέσω της σύγκρισής τους με ένα (υποτιθέμενο ή πραγματικό) αρχετυπικό pattern. Αυτό, λειτουργεί σαν «σήμα αναφοράς» (reference). Για να μπορέσει ένας ακροατής να καταλάβει ότι πρόκειται για επανεμφάνιση της αναφοράς αυτής, έστω παραλλαγμένης, πρέπει να την έχει ήδη με σαφήνεια στο μυαλό του. Προϋπόθεση γι' αυτό είναι η επανάληψη. Η συσχέτιση και η σύγκριση του μουσικού υλικού γίνεται μόνο μέσω της επανάληψης. Η επανάληψη εντοπίζεται ως αναγκαίο συνθετικό εργαλείο ώστε να αποκτήσει μία συμπαγή ραχοκοκαλιά το μουσικό έργο. Οι βασικές δομικές μονάδες είναι ο κορμός του και οι παραλλαγές είναι τα κλαδιά μέσα από τα οποία φυτρώνουν τα φύλλα, τα άνθη και οι καρποί. Τα ενδιαφέροντα σημεία του δέντρου δηλαδή. Στην πραγματικότητα, η συντριπτική πλειοψηφία των μουσικών έργων έχουν εμφανές το στοιχείο της επανάληψης. Κάθε τραγούδι άλλωστε, είτε πρόκειται για Beatles είτε για παραδοσιακό της Καλύμνου στηρίζεται στην επανάληψη κάποιων σκοπών. Οι φούγκες και οι κανόνες, όλα τα έργα σε φόρμα σονάτα, όλες οι όπερες και τα μπαλέτα, τα leitmotiv του Wagner, τα έργα της σειραϊκής μουσικής, ο μινιμαλισμός και πάει λέγοντας, όταν τα ακούμε σίγουρα εντοπίζουμε και κάτι το οποίο μας θυμίζει κάτι που είχαμε ξανακούσει λίγο πιο πριν.

Η επανάληψη όμως δεν είναι αναγκαία μόνο στην περίπτωση σύνθεσης νέων μουσικών έργων. Η εξοικείωση με κάποια βασικά και εδραιωμένα μουσικά patterns είναι αυτή η οποία μας καθορίζει το τι εκλαμβάνουμε ως μουσική και τι ως απλό ήχο. Όταν ακούσουμε ένα κομμάτι στο ραδιόφωνο θα καταλάβουμε αν μας θυμίζει Beethoven ή Pink Floyd. Αυτό γίνεται επειδή έχουμε αποθηκευμένη μουσική πληροφορία στον εγκέφαλό μας. Αυτό δε σημαίνει ότι έχουμε αποθηκευμένο το σύνολο της εργογραφίας του Beethoven και των Pink Floyd. Αντίθετα, κάποια patterns τα οποία τα χρησιμοποιεί ο κλασικισμός του πρώτου μισού του 19^{ου} αι. (και αντίστοιχα του ψυχεδελικού ροκ των δεκαετιών '60-'70) έχουν μετασηματιστεί σε patterns νευρωνικών διασυνδέσεων. Μόλις ακούσουμε κάτι το οποίο ταιριάζει (έχει υψηλό ποσοστό συσχέτισης) με αυτά ο εγκέφαλός μας κάνει τους απαραίτητους συνειρμούς και μας «ενημερώνει» για το τι μπορεί να είναι αυτό που ακούμε. Είναι παρεμφερής διαδικασία με το να ξεχωρίσουμε μήλα από μπανάνες. Είναι ένα τυπικό παράδειγμα του «pattern recognition».

Η επανάληψη λοιπόν παρέχει τη δυνατότητα αναγνώρισης ενός σήματος αναφοράς και των παραγώγων του, ενώ μας εξοικειώνει με αυτό που προσλαμβάνουμε ως μουσική. Με τον τρόπο αυτό, μας προμηθεύει με τα απαραίτητα εργαλεία για να μπορούμε να «μαντέψουμε» τη μουσική συνέχεια, ώστε να μπορούμε να «παίζουμε» και εμείς στο παιχνίδι της επιβεβαίωσης ή όχι μιας προσδοκίας. Άλλωστε, η αισθητική απόλαυση προέρχεται από την έκβαση του παιχνιδιού αυτού.

Όλη αυτή η διαδικασία την οποία κάνει τόσο γρήγορα, επιτυχημένα και αυθόρμητα ο ανθρώπινος εγκέφαλος, μαθηματικά εντάσσεται στην τοπολογία, στη θεωρία ομάδων και στη θεωρία κατηγοριών. Με βάση αυτά τα μαθηματικά μοντέλα εξετάζεται ποια μουσικά τεμάχια ικανοποιούν τους όρους για να χαρακτηριστούν ως «ομάδα», πώς τα στοιχεία

της ομάδας αυτής παραλλάσσονται (permutation) και ο μεταξύ τους μορφισμός, δηλαδή ο βαθμός και ο τρόπος με τον οποίο οι διάφορες ομάδες συσχετίζονται.

Στην πράξη, λοιπόν, η μουσική είναι ένα δίκτυο από patterns τα οποία επαναλαμβάνονται με παραλλαγές. Στο [182] επιχειρείται η εφαρμογή της γενικής θεωρίας δικτύου (General Net Theory) του Petri [183] στην περιγραφή της μουσικής. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, οποιοδήποτε σύστημα μπορεί να εκφραστεί μέσω μορφισμών σε διαφορετική επίπεδα αφαίρεσης. Αναφορικά με τη μουσική, πέντε είναι τα βασικά στοιχεία μέσω των οποίων διαμορφώνεται το μουσικό κείμενο: η «ακολουθία» (sequence), με βάση την οποία περιγράφεται η γραμμική διαδοχή από το ένα στο άλλο απόσπασμα, ο «εναλλακτισμός» (alternative), ο οποίος περιγράφει τις μουσικές ελευθερίες και τις μη αιτιοκρατικές σχέσεις, η «σύνδεση» (conjunction), η οποία παρέχει τη νοητική σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών αντικειμένων, ο «υβριδισμός» (fusion), μέσω του οποίου επιτυγχάνεται το δομικό σμίξιμο δύο διαφορετικών αποσπασμάτων σε ένα και ο «διαχωρισμός» (splitting), μέσω του οποίου ένα απόσπασμα χωρίζεται σε δύο ή περισσότερα επιμέρους.

Στην παραπάνω θεωρία αναδεικνύεται το γεγονός ότι ένα μουσικό συνεχές στην πράξη δεν είναι μία αυτόνομη μουσική μονάδα, αλλά ένα δίκτυο από αλληλοεπιδρώντα τμήματα τα οποία, ανά ομάδες, έχουν δομική συγγένεια (μορφισμός). Μπορεί, επομένως, το κάθε μουσικό έργο να αναπαρασταθεί μέσω διαφορετικών επιπέδων αφαίρεσης, μέσω κατάλληλων μορφισμών.

Οι παραλλαγές ενός μουσικού υλικού χρησιμοποιούνται κατά κόρον και σε πιο σύγχρονες μορφές της μουσικής. Η δωδεκαφθογγική μουσική προσπάθησε να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για πλήρη κατάργηση της τονικότητας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι καμία νότα δεν είναι πιο σημαντική από τις άλλες. Στο είδος αυτό ο φθόγγος έχει μεγαλύτερη σημασία από τη νότα.⁹⁰ Επομένως, τα διαστήματα μετριοούνται σε σχέση με την απόσταση των φθόγγων και όχι των νοτών. Για παράδειγμα, για την εύρεση της απόστασης D4 – C#4, δε μας ενδιαφέρει το ακριβές τονικό ύψος, αλλά η απόσταση του φθόγγου D από τον φθόγγο C#. Το διάστημα αυτό λοιπόν είναι 11 ημιτόνια. Στη δωδεκαφθογγική μουσική βασικό συνθετικό pattern είναι η διατήρηση της απόστασης αυτής.

Είτε πρόκειται για ευθεία κίνηση, είτε για αντιστροφή, είτε για καρκίνο, είτε για σμίκρυνση ή μεγέθυνση, κάθε τύπου μεταποίηση εμφανίζει, εξ ορισμού, σχέσεις συμμετρίας με το πρωτογενές υλικό. Η δημιουργία των παραλλαγών δεν προϋποθέτει τη δημιουργία καινούριου υλικού, αλλά προκύπτει από ένα προγενέστερο και τον μηχανισμό μεταποίησής του. Μοιάζει με το αποτέλεσμα μίας συνάρτησης, της οποίας η είσοδος είναι το αρχετυπικό pattern.

Η ανάπτυξη συμμετρικών είναι, με βάση την ορολογία μας, αυτοσυντηρητικού χαρακτήρα. Περιορίζει την τάση για αλλαγή των ορίων της μουσικής οντότητας. Με άλλα λόγια, συντηρεί την εντροπία σε χαμηλές τιμές. Η ανάπτυξη ενός απολύτως

⁹⁰ Στη θεωρία της μουσικής η νότα αντιστοιχίζεται σε συγκεκριμένο τονικό (συχνοτικό) ύψος. Όλοι έχουμε ακούσει ότι «κουρδίζουμε» στη νότα A4. Αυτό σημαίνει ότι κουρδίζουμε στη νότα La της τέταρτης οκτάβας του πιάνου. Ο φθόγγος La αναφέρεται σε οποιαδήποτε νότα La, ανεξάρτητα από την οκτάβα στην οποία βρίσκεται.

καινούριου μουσικού υλικού εισάγει νέες πιθανές διατάξεις. Είναι μία νέα συνταγή, την οποία για να την υλοποιήσεις χρειάζεσαι νέα υλικά. Η συμμετρία, όμως, χρησιμοποιεί τα ίδια υλικά, παρόλο που η ίδια αποτελεί μία νέα συνταγή. Επομένως, χρειαζόμαστε πολύ λιγότερη πληροφορία για να περιγράψουμε το νέο έργο. Αν, για παράδειγμα, χρειαζόμαστε έναν αριθμό από bits για να περιγράψουμε λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά ενός αυτοκινήτου, όταν κυκλοφορήσει η επόμενη έκδοση, αρκεί να πούμε «είναι σαν την παλιά, με τη διαφορά ότι έχει το «τάδε και το δείνα» χαρακτηριστικό». Η περιγραφή του νέου μοντέλου χρειάζεται πολύ λιγότερη πληροφορία. Επομένως, ο αριθμός των διατάξεων για την περιγραφή των δύο αυτών αυτοκινήτων είναι πολύ μικρότερος από το να περιγράψαμε και το δεύτερο αυτοκίνητο από το μηδέν. Το νέο σύστημα έχει πολύ μικρότερη εντροπία από το σύστημα δύο παντελώς άσχετων αυτοκινήτων.

Στην παραλλαγή συμμετρικών μοτίβων χρειαζόμαστε λοιπόν μία είσοδο (input) και τελεστές. Με διαφορετικούς τελεστές παράγονται διαφορετικά αποτελέσματα. Στη μουσική, οι τελεστές αυτοί είναι οι διάφοροι τρόποι παραλλαγής ενός αρχετυπικού μουσικού υλικού.

Στη ζωγραφική, τη γλυπτική και την αρχιτεκτονική, ως επί το πλείστον, οι αναλογίες (από τις οποίες προκύπτουν συμμετρίες) είναι παρούσες σε πληθώρα έργων, όπως ο Παρθενώνας, η Μόνα Λίζα, ο Βιτρούβιος Άνθρωπος κ.α.. Έτσι λοιπόν, αν υποθέσουμε ότι οι «τέλειες» αναλογίας υπακούν στη χρυσή τομή, αν ορίσουμε το μήκος των ματιών, θα προκύψει το μήκος της μύτης, η απόσταση στόματος φρυδιών, το μήκος του προσώπου, και από το πρόσωπο θα προκύψουν οι αναλογίες του σώματος. Επομένως, ορίζοντας μόνο έναν συντελεστή αναλογίας και ένα αρχικό μήκος, μπορούν να προκύψουν τα μήκη σε όλα τα μέρη ενός «τέλειου» γεωμετρικά σώματος. Χρειαζόμαστε λοιπόν μόνο δύο αριθμούς, αντί για διαφορετικούς αριθμούς για όλα τα τμήματα του σώματος. Οι συμμετρίες μας επιτρέπουν την περιγραφή ενός συστήματος με μικρότερο αριθμό διατάξεων. Αφού λοιπόν, εντροπία είναι *«το μέτρο του αριθμού των διατάξεων οι οποίες ικανοποιούν κάποιο συγκεκριμένο αναγνώσιμο κριτήριο» (ενότητα 1.1.2)*, η ανάδειξη συμμετριών συμβάλλει στη διατήρηση της εντροπίας (αυτοσυντήρηση).

Οι συμμετρίες λοιπόν επιβάλλουν δομές, μέσω των αναλογιών που προκύπτουν. Με τον τρόπο αυτό όμως διαμορφώνονται κανονικότητες / νόρμες, οι οποίες συνεπάγονται ομοιογένειες. Αναφερόμαστε στην καθομιλουμένη σε έργα που «ξεχωρίζουν». Αυτό σημαίνει όχι απλώς ότι έχουν μεγάλη αισθητική αξία, αλλά ότι διακρίνονται εύκολα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Η διάκριση κάθε οντότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες προκύπτει από τις ιδιότητες / χαρακτηριστικά της. Και οι ιδιότητες προκύπτουν με την πληροφορία (και την εντροπία) τους. Αν φτιάχναμε έργα μόνο μέσω προκαθορισμένων αναλογιών δε θα υπήρχαν αρκετές διατάξεις ώστε να αναπτυχθούν ιδιότητες οι οποίες θα περιγράφουν τη «μοναδικότητά» τους. Είναι η περίπτωση της μεγιστοποίησης της αυτοσυντήρησης. Χρειαζόμαστε και «επικοινωνία» ώστε να μπορούν να ξεδιπλωθούν οι ιδιότητές τους. Ο Muller μάλιστα πιστεύει ότι η πληροφορία αναδύεται μέσω της ασυμμετρίας. Περιγράφει τα συστήματα μέσω της θεωρίας ομάδων και εξηγεί ότι η πληροφορία στην παρατήρηση του σύμπαντος συνεπάγεται ποικιλία στη μορφή. Η ποικιλία αυτή εξασφαλίζεται μόνο μέσω σχέσεων ασυμμετρίας. [184]

Εάν οι παραλλαγές ήταν αυθαίρετες, τότε θα πρόκυπταν πολύ διαφορετικά αποσπάσματα σε σχέση με το αρχικό. Παραδείγματος χάρη, σε μία ακολουθία n

στοιχείων προκύπτουν $n!$ δυνατοί συνδυασμοί. Αν για παράδειγμα θέλουμε να διατάξουμε μία 5φθογγη κλίμακα (όπως π.χ. αυτές που χρησιμοποιούνται στην ήπειρο), τότε έχουμε $5! = 120$ συνδυασμούς, σε μία 7φθογγη (όπως π.χ. οι τυπικές μείζονες / ελάσσονες της δυτικής μουσικής), έχουμε 5040, ενώ σε μία 12φθογγη (όπως αυτές της σχολής της Βιέννης) 479.001.600! Η συμμετρία λοιπόν περιορίζει τους εφικτούς συνδυασμούς, ώστε να είναι δυνατή η συσχέτιση με το υπάρχον υλικό. Άλλωστε, αυτή η συσχέτιση είναι που δίνει συνοχή στο μουσικό έργο.

Ο Maessian στα έργα του αξιοποίησε τη μαθηματική σκέψη και τη θεωρία ομάδων. Για να διασφαλίσει παράλληλα ποικιλομορφία αλλά και συνοχή χρησιμοποίησε ως συνθετικό υλικό τις λεγόμενες «συμμετρικές παραλλαγές» (symmetrical permutation). [185] Για παράδειγμα, στο έργο *Danse de la fureur, pour les sept trompettes (Part VI στο Quatuor pour la fin du Temps* του Maessian) χρησιμοποίησε τα ρυθμικά σχήματα:

3, 5, 8, 5, 3
 4, 3, 7, 3, 4
 2, 2, 3, 5, 3, 2, 2
 1, 1, 3, 2, 2, 1, 2, 2, 3, 1, 1
 2, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1, 2
 2, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1, 2
 1, 1, 1, 1, 1, 3, 1, 1, 1, 1, 1
 3, 5, 8, 5, 3

Στα οποία η συμμετρία, στον κάθετο άξονα, είναι προφανής.

Η βασική του προτίμηση όμως ήταν τα συμμετρικά σχήματα στα οποία μετά από ορισμένο αριθμό βημάτων πρόκυπτε εκ νέου το αρχικό σχήμα. Για παράδειγμα, αν ο κανόνας είναι η εναλλαγή του πρώτο με το δεύτερο τότε ξεκινώντας από το 1, 2, 3 έχουμε: 1,2,3→2,1,3→1,2,3. Με δύο βήματα επιστρέψαμε στο αρχικό. Η τάξη της συμμετρίας αυτής είναι επομένως 2. Αντίστοιχα, αν ο κανόνας το τρίτο να γίνει πρώτο, τότε από το 1, 2, 3, 4 έχουμε: 1,2,3,4→2,3,1,4→3,1,2,4→1,2,3,4. Η τάξη συμμετρίας στο παράδειγμα αυτό είναι 3. [185]

Παρουσιάζουμε λοιπόν τη δημιουργία των μουσικών οντοτήτων ως το αποτέλεσμα της διεκκυστίνδας μεταξύ αυτοσυντήρησης και επικοινωνίας. Με άλλα λόγια, των αντίρροπων τάσεων αλλαγής και διατήρησης. Ο Ξενάκης ανέφερε ότι «[θ]έλω να αποφύγω αυτή τη συμμετρία: να αποφύγω τμήματα που είναι όμοια μεταξύ τους. Έτσι ορίζω το μέγιστο επίπεδο της ελευθερίας μου: να μην υπάρχει καμία συμμετρία», καθώς και το ότι «η ελευθερία μου ταυτίζεται με το αίτημα της τύχης». [186] Ταυτόχρονα όμως, αντιλαμβανόταν ότι η απουσία της συμμετρίας επέβαλε την ανάγκη να υπάρξει κάποια νομοτέλεια. Έπρεπε να υπάρχει κάποιος μηχανισμός. Εμείς, θα μπορούσαμε να πούμε, ότι η μεγιστοποίηση της επικοινωνίας σε βάρος της αυτοσυντήρησης, και το αντίστροφο, δεν επιτρέπει σε καμία οντότητα να υπάρχει, εν προκειμένω και στις μουσικές. Αυτή η παραδοχή γίνεται και από το συνθέτη, ο οποίος στην προσπάθειά του να φτιάξει στοχαστική μουσική δήλωνε: «Είναι λοιπόν αντιθετικά αυτά που ζητώ: αφενός να

κατέχω τη μεγαλύτερη δυνατή ελευθερία μιας και τα διαστήματά μου θα είναι τυχαία, αφετέρου να έχω έναν εξαναγκασμό, έναν αφηρημένο μηχανισμό (που να διανέμει τυχαία τα διαστήματα)... Η αντίθεση δε θα αρθεί, θα υφίσταται πάντοτε». [186] Η «καταδίκη» των μουσικών οντοτήτων να βιώνουν αυτήν την αντίθεση είναι ισοδύναμη με την προϋπόθεση της αμοιβαίας συνύπαρξης επικοινωνίας και αυτοσυντήρησης.

Η συνθετική ελευθερία συνδέεται με έννοιες όπως η αδυναμία πρόβλεψης, η απροσδιοριστία, η τυχαιότητα, η μη επαναληψιμότητα, η ασυμμετρία, η έλλειψη αιτιότητας κ.α. [187] Για να τιθασευτεί το αποτέλεσμα της άκριτης ελευθερίας, η οποία θα οδηγούσε σε αμιγώς τυχαία φαινόμενα, χωρίς κάποιο νοητικό και αισθητικό περιεχόμενο, ο Ξενάκης μίλησε για την ανάγκη υιοθέτησης μηχανισμών οι οποίοι θα επέβαλαν κάποιες νομοτέλειες. Η μουσική βρίθεται από τέτοιους μηχανισμούς. Είναι όλα όσα η μουσική θεωρία διδάσκει. Η μουσική δημιουργία στηρίζεται στους κανόνες της μουσικής. Οι κανόνες της μουσικής είναι άλλωστε οι σχέσεις οι οποίες επιβεβαιώνονται στατιστικά. Δεν είναι τυχαίο ότι μετά τον προσαγωγέα ακολουθεί η τονική, ή ότι η 7^η της δεσπόζουσας λύνεται βηματικά προς τα κάτω. Με τον τρόπο αυτό γίνεται φανερό ότι η αιτιότητα ενυπάρχει στη μουσική δημιουργία. Μπορούμε να σκεφτούμε ότι οι κανόνες της μουσικής είναι αυτοί οι οποίοι εισάγουν την αιτιότητα, αφού κάθε νότα προκύπτει ως το αποτέλεσμα της ύπαρξης μίας άλλης. Όταν ένας μαθητής της αρμονίας βλέπει στη γραμμή του μπάσο τις νότες Σολ και Ντο, η πιο πιθανή εναρμόνιση που θα σκεφτεί είναι μέσω των βαθμίδων $V \rightarrow I$, της τονικότητας της Ντο (μείζονας ή ελάσσονας). Αντίστοιχα, όταν ένας συνθέτης γράφει το θέμα από μία δωδεκαφθογγική σύνθεση, η πρώτη νότα του θέματος θα επιλεγεί με πιθανότητα 1/12, η δεύτερη 1/11, η τρίτη 1/10 και στο τέλος η δωδέκατη με πιθανότητα 100%. Επομένως, παρατηρείται και εδώ η ύπαρξη αιτιότητας (εν προκειμένω, όχι κλασσικός, αλλά πιθανοκρατικός ντετερμινισμός), αφού η χρήση κάποιων φθόγγων επιβάλλει ποιοι φθόγγοι δύναται να χρησιμοποιηθούν έπειτα.

Η αιτιότητα είναι η σχέση δύο συμβάντων, στα οποία το δεύτερο προκύπτει εξαιτίας του πρώτου. Αφού λοιπόν ο προσαγωγέας επιβάλλει τη λύση στην τονική, ή η χρήση ενός φθόγγου στη δωδεκαφθογγική επιβάλλει τη μη εκ νέου χρήση του (μέχρι να ακουστούν και οι δώδεκα), παρατηρούμε στη μουσική φαινόμενα αιτιότητας. Οι κανόνες, επομένως, στη μουσική συνδέονται με την αιτιότητα. Παράλληλα όμως, επηρεάζουν και τον αριθμό των πιθανών διατάξεων. Μπορεί, θεωρητικά τουλάχιστον, ένας συνθέτης να μπορεί να επιλέξει όποια νότα θέλει, στην πράξη όμως οφείλει να γράφει πάνω σε κάποιους κανόνες. Οι κανόνες δεν είναι υποχρεωτικό να είναι αυτοί που διδάσκεται κανείς σε ωδεία. Δεν είναι καν υποχρεωτικό να είναι συνειδητοί. Όταν κάποιος αυτοσχεδιάζει, για παράδειγμα, αφήνοντας τη φαντασία του τελείως ελεύθερη, στην πράξη είναι οριοθετημένος από τον τρόπο που έχει συνδέσει τα αποθηκευμένα σε αυτόν pattern, στον εγκέφαλο αλλά και στις κινήσεις των δακτύλων του. Οι κανόνες προσφέρουν και αυτοί, όπως οι συμμετρίες, μηχανισμούς ελέγχου της εντροπίας. Για παράδειγμα, όταν ένας συνθέτης γράφει στην τονικότητα Ντο μείζονα, όταν χρησιμοποιήσει τη νότα Μι, αυτή θα είναι χωρίς αλλοίωση. Το Μι ύφεση θα είναι εξαίρεση. Αφού «βγαίνει από την εξίσωση» το Μι ύφεση, τότε θα χρειαστώ λιγότερα bits για να περιγράψω τη δομή. Στην τροπική μουσική μάλιστα, η έννοια του τρόπου, δεν περιλαμβάνει μόνο τον οπλισμό (δηλαδή ποιες νότες κρατάμε και ποιες αφήνουμε) αλλά και εδραιωμένους τρόπους σύνδεσης των νοτών αυτών. Υπάρχουν νότες πιο σημαντικές

από τις άλλες (όπως η τονική και η δεσπόζουσα). Με άλλα λόγια, οι επιλογές του συνθέτη δεν είναι απόλυτα ελεύθερες. Αν θεωρήσουμε το μουσικό έργο ως σύστημα, τότε συνειδητοποιούμε ότι η «ανελευθερία» αυτή συνεπάγεται περιορισμό των διατάξεων του συστήματος.

Ας δούμε όμως λίγο πιο προσεκτικά τις σχέσεις αιτιότητας οι οποίες εμφανίζονται στη μουσική. Έχουμε μιλήσει ότι η μουσική πρόσληψη γίνεται εφικτή όταν αυτό που ακούμε μπορεί να συσχετιστεί στο μυαλό μας με κάτι που έχουμε ήδη ακούσει. Το άκουσμα κάποιων ήχων (πρωθύστερο γεγονός – αιτία) πυροδοτεί τους ειδικά σχηματισμένους νευρώνες του εγκεφάλου (μεταγενέστερο γεγονός – αποτέλεσμα). Από την άλλη, βέβαια, επειδή είναι έτσι σχηματισμένοι οι νευρώνες (πρωθύστερο γεγονός – αιτία) αντιλαμβανόμαστε τον προσλαμβανόμενο ήχο ως μουσική (μεταγενέστερο γεγονός – αποτέλεσμα). Ο ήχος πυροδοτεί νευρολογικές διεργασίες οι οποίες με τη σειρά τους πυροδοτούν τη μουσική πρόσληψη. Ο κύκλος κλείνει και παρατηρούμε την κυκλική αιτιότητα.

Η κυκλική αιτιότητα στη μουσική συνδέεται με την ταύτιση σημαίνοντος και σημειομένου. Έχουμε αναφέρει ότι οι φυσικές έννοιες (σημαινόμενα), υπάρχουν ανεξάρτητα από το αν κάποιος τις ονομάζει, τους βάζει μία λεκτική ταμπέλα, ένα σημαίνον. Αυτό όμως το οποίο πυροδοτεί το μουσικό άκουσμα δεν υπάρχει κάπου αυτόνομα. Ενυπάρχει στο ίδιο το άκουσμα. Η μουσική νοηματοδοτείται από τον εαυτό της. Τα τμήματα μίας μουσικής δομής διαμορφώνουν ένα μουσικό συνεχές το οποίο είναι φορέας αισθητικής και νοήματος (bottom-up causation). Παράλληλα, ένα μουσικό συνεχές γίνεται φορέας της δεδομένης αισθητικής και νοήματος λόγω της συγκεκριμένης δομής (top-down causation). Τα μουσικά σημαίνοντα δεν νοούνται χωρίς σημεινόμενα. Στα γλωσσικά φαινόμενα, η ίδια η πραγματικότητα φτιάχνει τις έννοιες, τις οποίες η γλώσσα κατονομάζει. Η φωτιά υπάρχει ανεξάρτητα από τη λέξη «φωτιά» ή «fire». Η μουσική πραγματικότητα όμως «φτιάχνεται» μέσα από την ίδια τη μουσική, δεν υπάρχει «κάπου εκεί έξω» και «περιμένει» κάποιον να βάλει κάποιες νότες στη σειρά για να την ονοματίσει. Αυτό ακριβώς είναι η ταύτιση σημαίνοντος και σημειομένου στη μουσική: η «μουσικότητα» (σημαινόμενο) ενυπάρχει στη δομή (σημαίνον) (bottom-up), ενώ ταυτόχρονα η δόμηση αυτή προκύπτει για να εκφραστεί η δεδομένη μουσικότητα (top-down). Η σημειολογική αυτή ταύτιση είναι, λοιπόν, αποτέλεσμα της κυκλικής αιτιότητας η οποία ενυπάρχει εγγενώς στα μουσικά φαινόμενα.

Έχουμε αναφέρει ότι κάθε οντότητα διακρίνεται από τις υπόλοιπες λόγω των ιδιοτήτων / χαρακτηριστικών της. Ένας άνθρωπος, για παράδειγμα, ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους από το χρώμα των μαλλιών του, το σχήμα του προσώπου του, το ύψος του, κάποιων πολύ ιδιαίτερων στοιχείων του, όπως μία ελιά ή ένα σημάδι και πάει λέγοντας. Αν αρχίσουμε και αφαιρούμε τις λεπτομέρειες αυτές, στα πρώτα στάδια αφαίρεσης θα μπορούμε ακόμα να διακρίνουμε για ποιον άνθρωπο πρόκειται. Αν προχωρήσουμε όμως περαιτέρω θα καταλήξουμε σε μία αρχετυπική μορφή μίας ανθρώπινης φιγούρας, από την οποία δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε στοιχεία (π.χ. ηλικία, φύλο, σωματοδομή κ.α.) τα οποία να ταυτοποιούν για το ποιον πρόκειται.

Με αντίστοιχο τρόπο μπορούμε να μιλήσουμε και για τις μουσικές οντότητες. Από τις αφαιρετικές μεθόδους μουσικής ανάλυσης, η πιο διαδεδομένη είναι η Σενκεριανή. Χοντρικά, ο αναλυτής σε κάθε στάδιο ανάλυσης επιλέγει, βάση κάποιων κριτηρίων ποιες

νότες είναι σημαντικές και ποιες όχι. Οι μη σημαντικές αφαιρούνται. Με τον τρόπο αυτό, σε κάθε στάδιο διεισδύουμε στη βαθύτερη δομή. Η σενκεριανή ανάλυση πρεσβεύει ότι όλα τα έργα της τονικής μουσικής έχουν στο βάθος τους την ίδια αρχετυπική μορφή, το *Ursatz*.

Με την αφαίρεση αυτή παρουσιάζονται σε κάθε βήμα όλο και λιγότερες λεπτομέρειες. Οι λεπτομέρειες, σημαντικές ή όχι, είναι οι ιδιότητες με τις οποίες περιγράφεται κάθε μουσική οντότητα. Επομένως, σε κάθε βήμα της ανάλυσης αυτής αφαιρείται πληροφορία. Οι διατάξεις οι οποίες περιγράφουν τη μουσική οντότητα γίνονται όλο και μικρότερες. Η εντροπία μικραίνει. Όταν η εντροπία ελαχιστοποιηθεί και καταλήξουμε στο *Ursatz* τότε δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε τις μουσικές οντότητες μεταξύ τους. Είναι η περίπτωση της μεγιστοποίησης της αυτοσυντήρησης. Για να μπορούν οι οντότητες να υπάρξουν πρέπει παράλληλα με την αυτοσυντήρηση να συνυπάρχει η επικοινωνία, η τάση για αλλαγή των ορίων. Η επικοινωνία συνεπάγεται την παροχή επιπλέον διατάξεων, μέσω των οποίων θα αναδειχθούν οι λεπτομέρειες οι οποίες θα δώσουν υπόσταση στη μουσική οντότητα.

Η αισθητική απόλαυση πραγματώνεται στη μουσική μέσω της επιβεβαίωσης ή όχι μιας προσμονής. Το ξάφνιασμα θα προσφέρει μία έξαψη. Οφείλει όμως να είναι ισορροπημένο, να στηρίζεται πάνω στο γνώριμο. Όταν ζητηθεί σε έναν αρχιτέκτονα να σχεδιάσει ένα σπίτι, ο πελάτης θα μείνει ικανοποιημένος αν δει καινοτομίες, ενδιαφέροντα στοιχεία, λεπτομέρειες που θα κάνουν το σπίτι αυτό ξεχωριστό. Δεν παύει όμως να πρέπει να θυμίζει σπίτι. Έτσι και με το μουσικό οικοδόμημα. Η προσδοκία πρέπει άλλοτε να επιβεβαιώνεται, ώστε να είναι γερό το μουσικό θεμέλιο. Άλλοτε όμως πρέπει να επέρχεται και ένα ξάφνιασμα, μέσα από το οποίο θα προσφέρει το άκουσμα κάτι το μοναδικό. Αυτές οι εκτιμήσεις της φιλοσοφίας και αισθητικής της μουσικής επιβεβαιώνονται και νευροφυσιολογικά. Κατά την προσμονή ενός μουσικού αποσπάσματος, τη στιγμή που ο ακροατής περιμένει αν θα ακουστεί ή όχι αυτό που προβλέπει, ο εγκέφαλος εκκρίνει ντοπαμίνη, μία ορμόνη η οποία συνδέεται με την απόλαυση (ντοπαμίνη εκκρίνεται όταν τρώμε κάτι που μας αρέσει ή κατά τη διάρκεια της σεξουαλικής πράξης).

Κάθε μουσική οντότητα είναι ένα σύστημα. Είναι μία άρθρωση που ηχήματα (συνηθέστερα νότες), μία ροή ηχητικής πληροφορίας. Ας φανταστούμε ένα κομμάτι στο οποίο ο συνθέτης θέλει να προσθέσει όλο και περισσότερες καινοτομίες, στολίδια και λεπτομέρειες. Θέλει, με άλλα λόγια, να του αλλάξει τα όρια (επικοινωνία). Με τον τρόπο αυτό θα προσθέσει στο σύστημα πολλές επιπλέον διατάξεις. Η εντροπία του συστήματος θα αυξηθεί. Αν αυτή η τάση μεγιστοποιηθεί τότε θα το κομμάτι αυτό θα εκφυλιστεί σε θόρυβο. Η αυτοσυντήρησή του δεν το «έσωσε». Παρατηρούμε λοιπόν, ότι η πραγμάτωση της αισθητικής απόλαυσης, μέσω της επιβεβαίωσης ή όχι μίας προσμονής, συνεπάγεται ένα παιχνίδι της εντροπίας. Υπερβολικά υψηλή εντροπία καταλήγει σε θόρυβο. Η υπερβολικά χαμηλή δεν επιτρέπει στην οντότητα να αποκτήσει ιδιότητες. Επομένως, επιβάλλεται η λειτουργία δύο αντιθετικών τάσεων (της αυτοσυντήρησης και της επικοινωνίας). Επομένως, ό,τι «τιθασεύει» την εντροπία μπορεί να θεωρηθεί ως το «αναγκαίο κακό».

Στην ενότητα αυτή εξετάσαμε τον ρόλο που έχει η επανάληψη (μέσω τον μορφισμών της θεωρίας ομάδων), της συμμετρίας και της αιτιότητας. Χωρίς αυτά, οι ηχητικές δομές θα

ήταν ανεξέλεγκτες, ένας ωκεανός από διάσπαρτα ηχήματα. Η μουσικότητα δε θα μπορούσε να αναδυθεί από τις ηχητικές δομές. Τα στοιχεία αυτά επιβάλλουν τις αναγκαίες ισορροπίες πάνω στις οποίες μπορούν να θεμελιωθούν οι μουσικές οντότητες. Εξασφαλίζουν τόσο την απαραίτητη ποικιλομορφία, αλλά, ταυτόχρονα, και την υπακοή σε ένα εδραιωμένο μουσικό υπόβαθρο.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάσαμε τη σύνδεση της πληροφοριακής μας οντολογίας με τη μουσική. Η μουσική, σύμφωνα με τον Varese είναι οργανωμένος ήχος. Η μουσική οντοφορία είναι εκείνη η οποία είναι η οργανωτική αρχή των εν δυνάμει μουσικών οντοτήτων. Είναι εκείνη η οποία θα ορίσει το ποιες γεωμετρικές σχέσεις των ήχων (audio) ή των συμβόλων (σημειογραφία, midi κ.λπ.) είναι επιτρεπτές. Η οργανωτική αρχή αποτυπώνεται στον ορισμό του Bateson: πληροφορία είναι η διαφορά (A) η οποία παράγει μία διαφορά (B). Η μουσική οντοφορία σχετίζεται με τον ορισμό αυτό μέσω των κανόνων (όπως το τονικό σύστημα, η κλίμακα/τρόπος, ο ρυθμός/αγωγή, η φόρμα, το δομικό υλικό κ.λπ.), οι οποίοι είναι οι γεννήτορες των ηχητικών διαφορών (A) οι οποίες όταν προσληφθούν γίνονται αντιληπτές ως μουσική (B). Η μουσική οντοφορία ορίζει το ποιες από τις άπειρες εν δυνάμει οργανώσεις του ήχου (σύστημα μεγιστοποιημένης εντροπίας) είναι επιτρεπτές. Η μουσική οντοφορία λοιπόν επιβάλλει τις κανονιστικές αρχές της μουσικής δόμησης. Αυτό είναι φανερό στην παραδειγματική σημειωτική ανάλυση, κατά την οποία το μουσικό συνεχές κατατμείται σε επιμέρους τμήματα τα οποία ομαδοποιούνται ανάλογα με τις κοινές τους ιδιότητες. Συγκροτείται λοιπόν ένα σύνολο από αρχετυπικά patterns τα οποία εμφανίζονται στο μουσικό έργο σε διαφορετικές εκδοχές – υλοποιήσεις. Ο Meyer υποστήριξε ότι η αισθητική απόλαυση συνδέεται με την επιβεβαίωση ή όχι της πρόβλεψης, το οποίο επιβεβαιώνεται στις μέρες βιολογικά – νευροφυσιολογικά. Για να είναι σε θέση ο ακροατής να προβλέπει την εξέλιξη του μουσικού έργου εκπαιδεύεται μέσω της ακρόασης σε αναγνώριση προτύπων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αποθήκευσης της μουσικής πληροφορίας στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Τα μουσικά patterns τα οποία προσλαμβάνει έχουν δομική σχέση με δομικά patterns στον εγκέφαλο (κυρίως του νευρωνικού δικτύου), το οποίο συνδέεται με τη δυνατότητα της πληροφορίας να επιβάλλει οργανώσεις μέσω της ροής από ένα σύστημα (αυτό τον ήχων) σε ένα άλλο (αυτό του νευρωνικού δικτύου του εγκεφάλου). Αναφέραμε προηγουμένως ότι η μουσική είναι οργανωμένος ήχος. Αυτό όμως δε συνεπάγεται ότι κάθε οργανωμένος ήχος είναι μουσική, παρά μόνο εκείνος ο οποίος μπορεί να συσχετισθεί από τον ακροατή με την αποθηκευμένη στον εγκέφαλό του μουσική πληροφορία. Τα αφαιρετικά μοντέλα ανάλυσης (π.χ. Σενκεριανή) δομούνται μέσω της σταδιακής αφαίρεσης των νοτών με δευτερεύοντα δομικό ρόλο ώστε να μπορεί να εντοπιστεί η βαθύτερη δομή. Η βαθύτερη δομή δεν παρουσιάζει κανένα μουσικό ενδιαφέρον γιατί είναι απόλυτα προβλέψιμη. Η άγνοια είναι μηδενική, η εντροπία είναι ελάχιστη. Αντίθετα, το λιγότερο προβλέψιμο σύστημα είναι αυτό της τυχαίας άρθρωσης ηχημάτων, το οποίο στη θεωρία των σημάτων συνεπάγεται θόρυβο. Τότε η άγνοια, και ως εκ τούτου και η εντροπία, γίνονται μέγιστα. Η μουσική λοιπόν, μέσω των κανόνων δόμησης (οντοφορία) επιβάλλει οργανώσεις του ήχου τέτοιες ώστε 1) εντροπία θα διατηρείται σε ελεγχόμενα επίπεδα (αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργείται έκπληξη και αρκετά χαμηλή ώστε να παραμένει εφικτή η δυνατότητα πρόβλεψης) και 2) θα μπορούν να συσχετιστούν με την αποθηκευμένη στον ακροατή μουσική πληροφορία.

Κεφάλαιο 3 Εφαρμογή της μουσικής οντοφορίας στην υπολογιστική αρχαιομουσικολογία

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάσαμε τη μουσική οντοφορία η οποία ορίζει τις κανονιστικές αρχές που επιβάλλουν τον τρόπο οργάνωσης του ηχητικού υλικού. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάσαμε τον λόγο για τον οποίο η αισθητική απόλαυση, η οποία συνδέεται με την προσδοκιμότητα του ακροατή, προϋποθέτει τη διατήρηση της εντροπίας της μουσικής οντότητας σε διαχειρίσιμα επίπεδα: αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργείται έκπληξη και αρκετά χαμηλή ώστε να παραμένει εφικτή η δυνατότητα πρόβλεψης. Η επιτέλεση της μουσικής γίνεται μέσω των μουσικών οργάνων, τα οποία είναι κατασκευασμένα με τρόπο ώστε να αναπαράγουν τις νότες τις οποίες ορίζει το εκάστοτε μουσικό σύστημα στο οποίο εντάσσονται. Τα μουσικά όργανα είναι η αναπαράσταση του τονικού συστήματος στην ύλη. Το μεν μουσικό σύστημα θεμελιώνεται πάνω σε διαστηματικές σχέσεις στο πεδίο των συχνοτήτων, τα δε μουσικά όργανα σε διαστηματικές σχέσεις στο πεδίο της ύλης. Επί της ουσίας συντελείται ένας δομικός μετασχηματισμός από το ένα πεδίο στο άλλο. Τα μουσικά όργανα λοιπόν είναι μηχανισμοί διατήρησης της εντροπίας σε ελεγχόμενα επίπεδα. Ως μηχανισμοί όμως αφήνουν βαθμούς ελευθερίας κατά την αλληλεπίδραση με τον εκάστοτε χρήστη, ο οποίος με διάφορες επιτελεστικές τεχνικές μπορεί να αναπροσαρμόζει εκ νέου το τονικό ύψος το οποίο παράγει το όργανο. Οι αρχαιομουσικολόγοι όταν επιχειρούν να προσδιορίσουν το κούρδισμα ενός μουσικού οργάνου στηρίζονται σε μεθόδους βασισμένες τόσο στις φυσικές ιδιότητες του οργάνου όσο και των βασικών τονικών συστημάτων της εποχής στην οποία αναφέρεται το συγκεκριμένο όργανο. Παρόλ' αυτά, οι επικρατούσες μέθοδοι δε συνυπολογίζουν τη δυνατότητα του μουσικού να αναδιαμορφώνει το τονικό ύψος καθώς παίζει (στα πνευστά με τον τρόπο που αλληλοεπιδρά με τη γλωσσίδα, στα έγχορδα αλλάζοντας τις ιδιότητες της χορδής, όπως τάση και μήκος). Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί ο Entrotuner (όπως δημοσιεύτηκε στο περιοδικό IEEE Access [22]), ο οποίος είναι μία υπολογιστική μέθοδος, βασισμένη σε μοντέλα μαθηματικής βελτιστοποίησης (mathematical optimization) και έχει ως στόχο τον ακριβέστερο προσδιορισμό του παραγόμενου τονικού ύψους ενός οργάνου (ερευνητικό ερώτημα 6, βλ. ΕισαγωγήΕΙΣΑΓΩΓΗ). Αυτό επιτυγχάνεται με τον συνυπολογισμό του οργάνου ως ένας μηχανισμός παραγωγής ήχου, των μουσικών κλιμάκων οι οποίες υιοθετούνταν στην εποχή αναφοράς του οργάνου, καθώς και της αλληλεπίδρασης του μουσικού με το όργανο. Προσομοιώνουμε αυτή την αλληλεπίδραση ως ένα σύστημα στο οποίο μεγιστοποιούνται οι επικαλύψεις των υπερτόνων (partials' overlap) και κωδικοποιείται μέσω της ελαχιστοποίησης της εντροπίας του συνολικού φάσματος του οργάνου. Παρουσιάζουμε τη χρήση του Entrotuner για τη μελέτη του Αυλού. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι η μέθοδός μας υπερτερεί των υπάρχουσών παρουσιάζοντας μεγαλύτερη αρμονικότητα (μείωση της εντροπίας κατά 0.341bits), έντεκα επιπρόσθετα σύμφωνα διαστήματα, καθώς και 47.8% ποιότητα κουρδίσματος για το μουσικό όργανο.

3.1 Υλικές και Πληροφοριακές διαστάσεις των μουσικών οργάνων και ο ρόλος του εκτελεστή

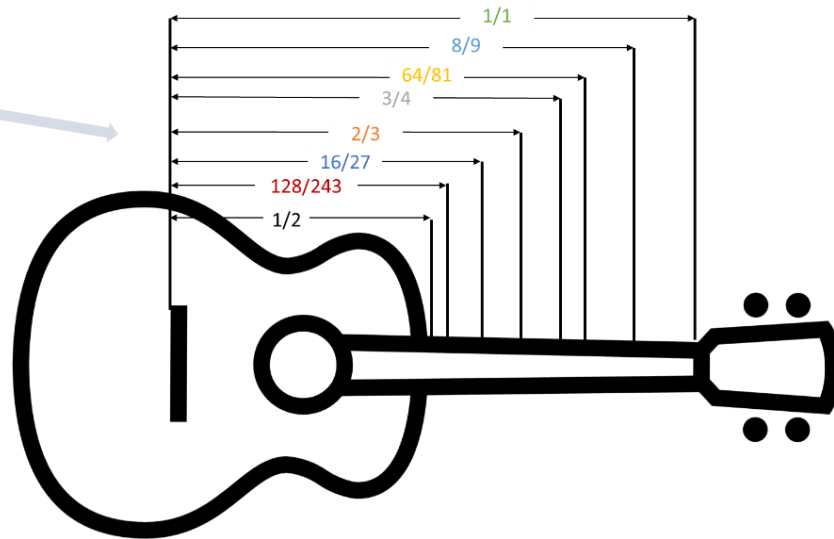
Η περιγραφή της πληροφοριακής και υλικής διάστασης των μουσικών οργάνων εκκινά από το ρόλο τους, ως μέσο και εργαλείο αναπαραγωγής ενός συγκεκριμένου μουσικού συστήματος. Τα μουσικά όργανα (τόσο τα φυσικά όσο και τα ηλεκτρονικά) ως μηχανισμοί μπορούν εν δυνάμει να αναπαράξουν όλες τις συχνότητες (αναφερόμαστε στις θεμελιώδεις, οι οποίες προσδίδουν το τονικό ύψος και όχι στους αρμονικούς οι οποίοι επηρεάζουν το ηχόχρωμα) του ακουστού φάσματος. Είναι όμως κατασκευασμένα με τρόπο ώστε να μπορούν να αναπαράξουν μόνο συγκεκριμένες. Από τις άπειρες πιθανές νότες (είναι άπειρες επειδή το φάσμα είναι συνεχές και όχι διακριτό) ένα πιάνο αναπαράγει μόλις 88 ενώ μία τυπική φλογέρα μονοψήφιο αριθμό. Τα μουσικά όργανα λοιπόν είναι μηχανισμοί διατήρησης της εντροπίας σε ελεγχόμενα επίπεδα. Επομένως, η μελέτη των μουσικών οργάνων προϋποθέτει την παράλληλη αξιολόγηση του μουσικού πολιτισμού στον οποίο είναι ενταγμένα, γιατί αυτός είναι ο οποίος επί της ουσίας ορίζει τις νότες τις οποίες καλείται το όργανο να αναπαράξει.

Οι δύο πρώτοι λοιπόν βασικοί πυλώνες της μουσικής είναι το μουσικό σύστημα και τα μουσικά όργανα. Πρόκειται για δύο διακριτά συστήματα τα οποία όμως βρίσκονται σε δομική συσχέτιση μεταξύ τους. Και τα δύο δομούνται σε σχέσεις διαστημάτων. Το μεν μουσικό σύστημα θεμελιώνεται πάνω σε διαστηματικές σχέσεις στο πεδίο των συχνοτήτων, τα δε μουσικά όργανα σε διαστηματικές σχέσεις στο πεδίο της ύλης. Επί της ουσίας συντελείται ένας δομικός μετασχηματισμός από το ένα πεδίο στο άλλο, η οργάνωση των συχνοτήτων ορίζει την οργάνωση της ύλης (η ροή πληροφορίας οργανώνει δομές). Όταν αναφερόμαστε στην οργάνωση της ύλης εννοούμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, με σημαντικότερα το πάχος και μήκος χορδής και θέση τάστων στα έγχορδα και μήκος σωλήνα και θέση τρυπών στα πνευστά. Εν προκειμένω, η φυσική και ακουστική των μουσικών οργάνων ορίζει ότι το μήκος (της χορδής ή του σωλήνα) είναι ανάλογο του μήκους κύματος που θα παραχθεί (αντιστρόφως ανάλογο της παραγόμενης συχνότητας). [188] Ο διπλασιασμός του μήκους ενός ηχητικού σωλήνα συνεπάγεται τον υποδιπλασιασμό της παραγόμενης συχνότητας (εν προκειμένω, μια οκτάβα υψηλότερα).

Κάθε μουσική πράξη έχει ως τελικό στόχο την παραγωγή ήχων. Επομένως, πλάι στους δύο προαναφερθέντες πυλώνες (μουσικό σύστημα και μουσικά όργανα) πρέπει να προστεθεί και ένας τρίτος, ο μουσικός / εκτελεστής. Το μουσικό σύστημα παρέχει θεωρητικές ιδανικές τιμές στο πεδίο των συχνοτήτων. Τα μουσικά όργανα είναι κατασκευασμένα με τρόπο ώστε να διευκολύνουν τον χρήστη στο να παράξει αυτό που το σύστημα ορίζει. Πριν την επιτέλεση, ο χρήστης, μόνος του (όπως στα έγχορδα με κλειδιά) ή με κάποιον εξειδικευμένο χορδιστή, επαναπρογραμματίζει το όργανο, παρεμβαίνοντας στα υλικά του χαρακτηριστικά (κυρίως ρυθμίζοντας την τάση της χορδής) ώστε να χορδιστεί όσο πιο πιστά γίνεται βάσει του τονικού συστήματος. Κάποια όργανα παρέχουν μηχανισμούς προσδιορισμού του τονικού ύψους και κατά τη διάρκεια της επιτέλεσης (π.χ., με αλλαγή της θέσης των δαχτύλων στο μπράτσο του έγχορδου οργάνου ή με αλλαγή στον τρόπο διέγερσης του οργάνου στο στόμιο των πνευστών). Η τελική λοιπόν διαμόρφωση του τονικού ύψους που φτάνει στον ακροατή οφείλεται στην αλληλεπίδραση του εκτελεστή με το όργανο.

Πυθαγόρεια κλίμακα

1/1
9/8
81/64
4/3
3/2
27/16
243/128
2/1



Εικόνα 3-1 Απεικόνιση του δομικού μετασχηματισμού των διαστηματικών σχέσεων από το πεδίο των συχνοτήτων (μουσικό σύστημα) στο πεδίο της ύλης (μουσικό όργανο). Στην εικόνα φαίνεται αριστερά ο λόγος συχνοτήτων οι οποίοι απαρτίζουν την πυθαγόρεια κλίμακα και δεξιά ο λόγος των μηκών που θα παράξει τα συγκεκριμένα διαστήματα.

3.2 Entrotuner: Υπολογιστική μοντελοποίηση του προσδιορισμού του κουρδίσματος των μουσικών οργάνων

Η αρχαιομουσικολογική έρευνα πρωτίστως επικεντρώνεται στα ευρήματα της ανασκαφής ενός αρχαίου μουσικού οργάνου καθώς και σε ιστορικές πηγές (κυρίως εικονογραφία και κείμενα). Στα πλαίσια αυτά οι ειδικοί αποφαινόμενοι για τον αρχαίο μουσικό ήχο, ο οποίος, σύμφωνα με σύγχρονες ανθρωπολογικές μελέτες, έπαιξε σημαντικό ρόλο σε πολλές εκφάνσεις της ζωής των αρχαίων κοινοτήτων (στα αρχαία θέατρα, στις τελετουργίες, στις κοινωνικές μαζώξεις και συναθροίσεις, στον πόλεμο, στη θρησκευτική λατρεία κ.α.) [189]. Παρόλ' αυτά, το γεγονός ότι σε πολλές ανασκαφές τμήματα λείπουν από το όργανο καθώς και η απουσία σαφών ενδείξεων για τις τεχνικές παιξίματος (δηλαδή του τρόπου αλληλεπίδρασης του μουσικού με το όργανο) οδηγούν σε αβεβαιότητα σχετικά με την ακριβή λειτουργία του οργάνου και τη συσχέτισή του με τα τονικά συστήματα της εποχής. [190] Η προσέγγιση ενός αρχαίου μουσικού οργάνου απλώς ως ένας μηχανισμός παραγωγής ήχου αποσυνδεδεμένη από την πολιτισμική πρακτική της εποχής είναι ελλιπής, αν όχι λανθασμένη. Αντιθέτως, πρέπει να ιδωθεί ως ένα σύστημα του οποίου η μελέτη δύναται να αποκαλύψει κρυφές πτυχές προηγούμενων πολιτισμών. Οι αρχαιομουσικολόγοι επικεντρώνονται, ως επί το πλείστον, σε δύο συμπληρωματικά ζητήματα: α) την πρόταση της μουσικής κλίμακας την οποία ο αρχαίος παίκτης αναμενόταν να ακολουθήσει βασισμένος στο τονικό σύστημα και β) την

αποκάλυψη και πιστοποίηση του τονικού συστήματος της εποχής, βασισμένοι στα νεοαποκτηθέντα αρχαιολογικά ευρήματα.

Ένα μουσικό όργανο το οποίο επιδέχεται κουρδίσματος (δηλαδή τα έγχορδα και τα πνευστά) μπορεί να παράξει μία πλειάδα από τόνους των οποίων η θεμελιώδης συχνότητα δεν υπάγεται στο τονικό σύστημα. Η μελέτη τέτοιων οργάνων ως φυσικά αντικείμενα τα οποία παράγουν ήχο, μπορεί μεν να δώσει πολύτιμες πληροφορίες αναφορικά με τις ακουστικές ιδιότητες του οργάνου, αλλά δεν μπορεί να δώσει με βεβαιότητα στοιχεία για τις νότες τις οποίες ήταν προγραμματισμένο το όργανο να αναπαράγει. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι τα άταστα έγχορδα όργανα, όπως το βιολί [191]. Μία ολοκληρωμένη μουσικολογική έρευνα μπορεί να δώσει συγκροτημένα αποτελέσματα αναφορικά με το τονικό σύστημα εφόσον λαμβάνει υπόψη τόσο i) τη μελέτη του μουσικού οργάνου ως φυσικό αντικείμενο και ii) το τονικό σύστημα το οποίο έχει σχεδιαστεί να αναπαράξει. Όμως, ενώ τα σύγχρονα τονικά συστήματα είναι επακριβώς γνωστά (π.χ. καλός συγκερασμός, ισοσυγκερασμός κ.λπ.), αναφορικά με τα αρχαία υπάρχει ασάφεια (ως στοιχεία μη ενεργών πολιτισμών) και μόνο εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν [192].

Οι λεπτομέρειες της κατασκευής ενός μουσικού οργάνου το οποίο έχει βρεθεί σε μία ανασκαφή (π.χ. το υλικό κατασκευής και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά), συσχετιζόμενες με τη γεωγραφική περιοχή και τη χρονολογική εποχή, παρέχουν πληροφορίες οι οποίες, συνδυαζόμενες με επιπλέον ευρήματα (π.χ. κείμενα και εικονογραφία) οδηγούν σε εκτιμήσεις αναφορικά με το τονικό σύστημα της εποχής. [193] Η ακουστική μελέτη του οργάνου δύναται να αποκαλύψει περισσότερες λεπτομέρειες. [194] Πρόκειται για μια απαιτητική διαδικασία, αφού τις περισσότερες φορές σημαντικά τμήματα του οργάνου λείπουν ή έχουν διαβρωθεί (π.χ., η γλωσσίδα από καλάμι στους αυλούς [195] και οι εντέρινες χορδές των έγχορδων οργάνων [196]).

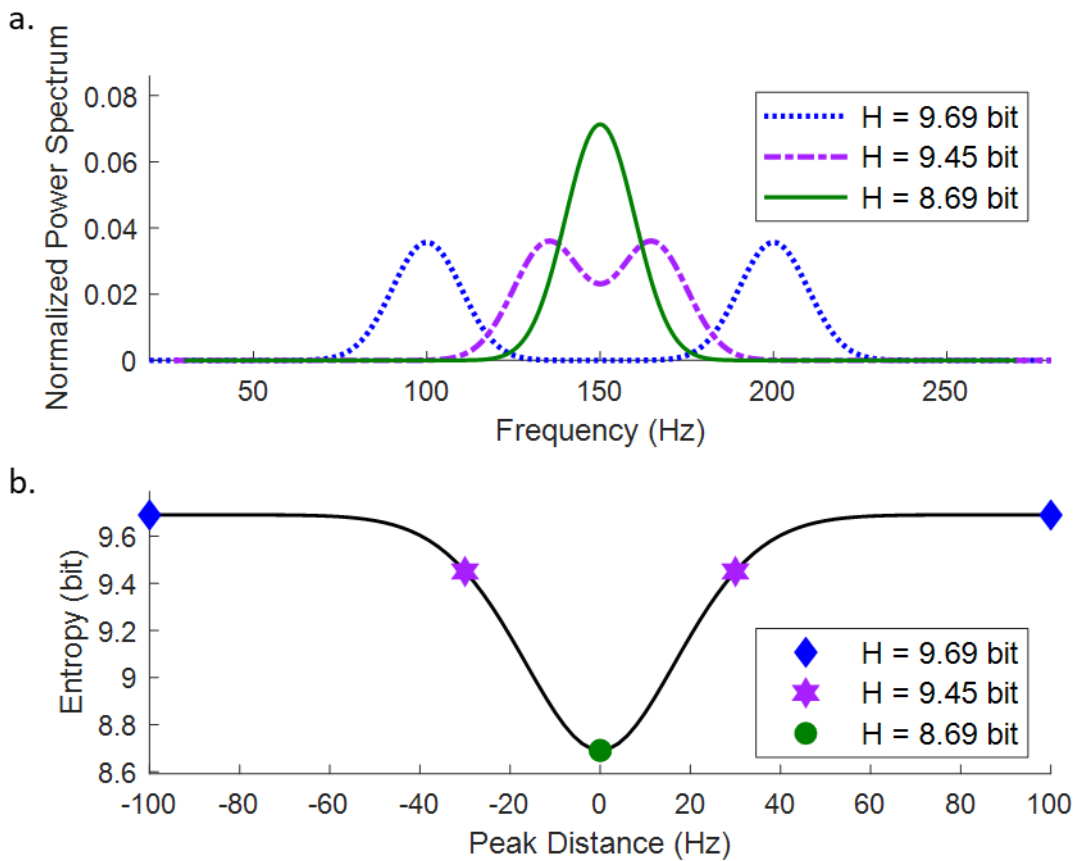
Ακόμα όμως και στην περίπτωση όπου ένα όργανο είναι άθικτο και πλήρες, η αλληλεπίδραση του μουσικό δεν μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια, ειδικά όσον αφορά το κούρδισμα. [190] Ο μουσικός έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει το ακριβές τονικό ύψος είτε αλλάζοντας το τέντωμα (τάση) της χορδής [197], είτε χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες τεχνικές φυσήματος και εφαρμογής πίεσης μέσω των χειλιών στο μηχανισμό διέγερσης (συνηθέστερα μονή ή διπλή γλωσσίδα) των πνευστών οργάνων [198]. Έτσι, παράλληλα με τους παράγοντες i και ii που αναφέρθηκαν παραπάνω, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και ένας επιπρόσθετος παράγοντας: iii) η αλληλεπίδραση του μουσικού με το όργανο. Ενώ αυτός ο παράγοντας συνυπολογίζεται στη μελέτη σύγχρονων οργάνων [199], [200], δεν υπάρχουν αντίστοιχες προσεγγίσεις που να συνυπολογίζουν και τους τρεις αυτούς παράγοντας στα αρχαία μουσικά όργανα. Η μέχρι τώρα μελέτη των αρχαίων πνευστών οργάνων αναδεικνύει μία συνέπεια όσον αφορά τη θέση των οπών [190] στην απόδοση συγκεκριμένων κουρδισμάτων [194]. Αυτά τα χαρακτηριστικά υποδηλώνουν ότι η μελέτη αποκλειστικά του οργάνου αυτού καθ' αυτού είναι ανεπαρκής και ότι χρειάζεται η υιοθέτηση μίας περισσότερο ολιστικής προσέγγισης. Μία τέτοια προσέγγιση είναι ο Entrotuner, μία υπολογιστική μέθοδος η οποία συνυπολογίζει και τα τρία θεμελιώδη στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος, δηλαδή το μουσικό όργανο, την αλληλεπίδραση του μουσικού και το ανάλογο τονικό σύστημα, ώστε να προσδιορισθεί το ιδανικό κούρδισμα του οργάνου.

Ο μουσικός παράγει ήχους έχοντας δύο βασικά κριτήρια. Το πρώτο κριτήριο είναι, μέσα στο εύρος των διαθέσιμων συχνοτήτων, να παράξει εκείνες οι οποίες ενυπάρχουν σε ένα προκαθορισμένο σύνολο προσδιορισμένο από ένα συγκεκριμένο τονικό σύστημα. Στα έγχορδα όργανα, αυτό πρωτίστως επιτυγχάνεται από το ανάλογο τέντωμα των χορδών. Μία ειδική περίπτωση είναι τα έγχορδα με λαιμό (π.χ., βιολί και κιθάρα) στον οποίο οι παίκτες τοποθετούν τα δάχτυλά τους σε εκείνο το σημείο (είτε προσδιοριζόμενο από τάστα είτε όχι) στο οποίο επιτυγχάνεται το επιθυμητό τονικό ύψος. Στα πνευστά, η επίτευξη του επιθυμητού τονικού ύψους γίνεται με χρήση κατάλληλων μέσων (π.χ., βαλβίδες ή κερί) τα οποία αλλάζουν το ενεργό μήκος του σωλήνα, με το άνοιγμα/κλείσιμο των οπών, καθώς και μέσω μηχανισμών φυσήματος (by means of embouchure). Το τελευταίο ήταν μία αναγνωρισμένη πρακτική στην κοινότητα των πνευστών με διπλό γλωσσίδι (όπως ο Αυλός). [194], [201] Ο μουσικός, καθώς παίζει, οδηγούμενος από το άκουσμά του (aural feedback), προσαρμόζει το τονικό ύψος αλλάζοντας τη θέση και την πίεση των χειλιών του στο γλωσσίδι. [198] Το δεύτερο κριτήριο αφορά την παραγωγή της βέλτιστης ακουστικής ποιότητας. Παρόλο που οι σύγχρονες ενδείξεις αναφέρουν ότι η προτίμηση σε κάποιους ήχους προκύπτει από την πολιτισμική εμπειρία [202], η συντριπτική πλειοψηφία των μουσικών πολιτισμών ανά τους αιώνες σχηματίζει κλίμακες των οποίων τα διαστήματα παρουσιάζουν μεγάλη φασματική ομοιότητα με μία αρμονική σειρά (ακέραια πολλαπλάσια μίας θεμελιώδους συχνότητας). [203], [204] Ο Entrotuner εφαρμόζεται σε εκείνους τους πολιτισμούς οι οποίοι παρουσιάζουν μια σαφή προτίμηση για τη μεγιστοποίηση των σύμφωνων διαστημάτων, όπως, για παράδειγμα, ο αρχαιοελληνικός [205], [206], στον οποίο εντάσσεται και ο Αυλός. Όσοι είναι μετέχοντες της παραπάνω πολιτισμικής προτίμησης θεωρούν τους ήχους ως «ευχάριστους», «αρμονικούς», «κουρδισμένους» όταν προσλαμβάνουν συσχετιζόμενα φάσματα (correlated spectra). [207], [208] Κάθε μουσικός τόνος αποτελείται από μια σειρά συχνοτήτων (partials), η οποία αποτελείται από τη θεμελιώδη συχνότητα και τις υψηλότερες συχνότητες (υπερτόνοι). Όσο περισσότερα κοινά partials υπάρχουν σε ένα γκρουπ από τόνους, τόσο περισσότερα αρμονικός θα είναι ο μουσικός ήχος. [209]

Συνήθως, η μαθηματική περιγραφή του τονικού συστήματος, και ο μηχανισμός παραγωγής ήχου των μουσικών οργάνων αποτρέπουν την αρμονικότητα. Ενώ θεωρητικά στα μουσικά όργανα οι υπερτόνοι είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους, στην πραγματικότητα ελαφρώς διαφέρουν από αυτή τη θεωρητική προβλεπόμενη τιμή, φαινόμενο το οποίο είναι γνωστό ως inharmonicity [210]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν ένα μουσικό όργανο κουρδίζεται αποκλειστικά βάση των θεμελιωδών συχνοτήτων, όπως αυτές ορίζονται από ένα θεωρητικό τονικό σύστημα, τότε ενδέχεται το όργανο να ακούγεται ως «ξεκούρδιστο», καθώς τα παραγόμενα partials δεν συμπίπτουν. Για παράδειγμα, τα πιάνο, λόγω των συρμάτινων χορδών τους και του μεγάλου συχνοτικού τους εύρους, επηρεάζονται ιδιαίτερα από την απουσία αρμονικότητας (inharmonicity). Για να υπερκεράσουν το πρόβλημα αυτό οι επαγγελματίες χορδιστές, χορδίζουν ηθελημένα κάποιες νότες (ειδικά τις πολύ υψηλές και τις πολύ χαμηλές) σε συχνότητες οι οποίες διαφέρουν από την θεωρητικά σωστή τιμή. [211]

Ενώ το χόρδισμα ενός πιάνου γίνεται κατά κανόνα από ένα επαγγελματία χορδιστή, σε πολλά μουσικά όργανα το χόρδισμα γίνεται από τον ίδιο τον εκτελεστή (π.χ., τα πνευστά και τα έγχορδα με κλειδιά χορδίσματος). Οι υπάρχουσες ηλεκτρονικές

εφαρμογές για την χόρδιση των πιάνων δεν έχουν την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα, λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων του κάθε πιάνου αναφορικά με την απουσία αρμονικότητας (inharmonicity). Σε κάθε περίπτωση, λοιπόν, το σωστά χόρδισμα προϋποθέτει ένα aural feedback. Ο Hinrichsen [207] πρότεινε μία μέθοδο προσομοίωσης του χορδίσματος το οποίο συνυπολογίζει τη μη ταύτιση των partials και την απόκλιση από τη θεμελιώδη συχνότητα σε σχέση με αυτή που ορίζει το τονικό σύστημα. Η λειτουργία του Entrotuner βασίζεται σε έναν entropy-based optimizer. Η εντροπία δύο φασμάτων μειώνεται καθώς αυτά επικαλύπτονται (Εικόνα 3-2). Πετυχαίνουμε τον καλύτερο συμβιβασμό του παραπάνω κριτηρίου όταν ελαχιστοποιείται η τιμή της εντροπίας του φάσματος έντασης (intensity spectrum). Ο Entrotuner μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε μουσικό όργανο στο οποίο ο παίκτης δύναται να αναπροσαρμόσει το τονικό ύψος (intonation) καθώς παίζει. Παρουσιάζουμε την εφαρμογή του μοντέλου μας στη μελέτη του αρχαίου ελληνικού αυλού, και πιο συγκεκριμένα του αυλού του Λούβρου, και συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας με αυτά των προηγούμενων μελετών του ίδιου οργάνου. [194], [212]



Εικόνα 3-2 Παράδειγμα το οποίο παρουσιάζει τη χρήση της εντροπίας (H) ως ένδειξη του ποσοστού επικάλυψης των φασματικών κορυφών. Για μία επικαλυπτόμενες κορυφές (a. μπλε, γραμμή με κουκίδες) η εντροπία είναι μέγιστη (b. μπλε διαμάντι) ($H = 9.69\text{bit}$) και ανεξάρτητα από την απόστασή τους. Καθώς επικαλύπτονται (a. μοβ, γραμμή με τη μορφή κουκίδας τελείας) η τιμή της εντροπίας μειώνεται (b. μοβ

αστέρι) ($H = 9.45\text{bit}$). Στη μέγιστη επικάλυψη (α. πράσινη συνεχής γραμμή) η τιμή της εντροπίας ελαχιστοποιείται (β. πράσινη κουκίδα) ($H = 8.69\text{bit}$)

Ένας εκτελεστής «χορδίζει» το πνευστό όργανο μέσω aural feedback καθώς παίζει, όπως ένας επαγγελματίας χορδίζει ένα πιάνο. Ο Entrotuner υπολογίζει τις νότες τις οποίες είναι σχεδιασμένος ο αυλός να αποδώσει, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση του μουσικού με το όργανο. Εξετάσαμε διάφορες τεχνικές optimization και ελέγξαμε την απόδοσή τους. Η μέθοδος αυτή παρέχει μία πιο λεπτομερή και σε βάθος μελέτη του αυλού, συμπεριλαμβάνοντας όχι μόνο το τονικό σύστημα και τη φυσική του οργάνου, αλλά και την αλληλεπίδραση του μουσικού με αυτό.

3.3 Μεθοδολογία

Στην υποενότητα αυτή περιγράφεται η μεθοδολογία και ο σχεδιασμός του Entrotuner.

3.3.1 Εντροπία και Αρμονικότητα

Πολλές νότες μαζί, είτε ηχούν ταυτόχρονα (συγχορδίες), είτε ηχούν διαδοχικά (μελωδία), γίνονται αντιληπτές ως σύμφωνες (consonant) ή διάφωνες (dissonant). Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τη συμφωνία όταν οι επικαλυπτόμενες συχνότητες των ήχων που ακούει σχηματίζουν απλές αρμονικές σειρές. [213] Τα μουσικά διαστήματα ορίζονται και προκύπτουν από το λόγο των θεμελιωδών συχνοτήτων των νοτών που τα σχηματίζουν. Σε κάποιους λόγους συχνοτήτων, π.χ. ταυτοφωνία (1/1), οκτάβα (2/1) και πέμπτη καθαρή (3/2), τόσο οι αρμονικές των επιμέρους νοτών επικαλύπτονται μεταξύ τους, όσο και οι αρμονικές που προκύπτουν σχηματίζουν ως επί το πλείστον απλές αρμονικές σειρές. Τα σύμφωνα διαστήματα διακρίνονται από αυτή ακριβώς την ιδιότητα. Από την άλλη, λόγοι οι οποίοι δεν έχουν αυτή την ιδιότητα, όπως το τρίτονο (64/45), έχουν ως αποτέλεσμα έναν διάφωνο ήχο. [214] Τα όργανα τα οποία έχουν χορδιστεί σε συγκεκριμένα τονικά συστήματα (π.χ., ο 12φθογγος ισοσυγκερασμός) σχηματίζουν διαστήματα τα οποία δεν μπορούν να εκφραστούν από λόγους μικρών ακεραίων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τα διαστήματα αυτά να απέχουν ελαφρώς από τις θεωρητικές τιμές στις οποίες θα έπρεπε να συντονιστούν. [215] Ένα κοινό παράδειγμα είναι αυτό της πέμπτης καθαρής (λόγος $3/2=1.5$). Στο τονικό σύστημα του 12φθογγου ισοσυγκερασμού η οκτάβα χωρίζεται σε 12 ίσα διαστήματα, τα ημιτόνια ($2^{1/12}$). Το διάστημα πέμπτης αποτελείται από 7 ημιτόνια ($2^{7/12} = 1.498$) το οποίο παρατηρούμε ότι διαφέρει από το θεωρητικό λόγο της πέμπτης καθαρής (1.5). Αυτή η απόκλιση επιτείνει τη δυσκολία των υπερτόνων να σχηματίζουν αρμονικές σειρές. Ενώ στη θεωρία οι υπερτόνοι είναι τα ακέραια πολλαπλάσια μίας θεμελιώδους συχνότητας (αρμονική σειρά), στην πραγματικότητα, υπάρχουν μικρές αποκλίσεις (inharmonicity). Η τονική ποιότητα κάθε οργάνου εξαρτάται από αυτές τις αποκλίσεις, οι οποίες προσδιορίζουν το συχνοτικό περιεχόμενο του φάσματος. Η έλλειψη αρμονικότητας έχει σημαντική επίδραση στον τρόπο που ηχεί ένας συνδυασμός από μουσικούς τόνους. Στη θεωρία, τα κοινά partial των τόνων που σχηματίζουν σύμφωνα διαστήματα συμπίπτουν απόλυτα. Στον φυσικό κόσμο όμως, λόγω των τονικών συστημάτων ή/και της αδυναμία των οργάνων να παράγουν τέλειες απλές αρμονικές σειρές, δεν παρατηρείται απόλυτη σύμπτωση. Η χόρδιση περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση αυτής της απόκλισης. Μία από τις τεχνικές

για την επίτευξη αυτής της ελαχιστοποίησης είναι η μερική μετατόπιση της θεμελιώδους συχνότητας από τη θεωρητική της τιμή. Ο λόγος για τον οποίο αντιλαμβανόμαστε ότι ένα διάστημα είναι κουρδισμένο είναι ότι τα partials συμπίπτουν, ακόμα και όταν ο λόγος των θεμελιωδών συχνοτήτων είναι ξεκούρδιστος. Στην περίπτωση του πιάνου, αυτή η τεχνική ονομάζεται τέντωμα (stretching). Τέτοιες τεχνικές χρησιμοποιούνται ακόμα και στα μονοφωνικά μουσικά όργανα, ειδικά όσα παίζουν σε σύνολα (όχι σόλο). Με παρεμφερή τρόπο, οι παίκτες μονοφωνικών πνευστών οργάνων επιδιώκουν το κούρδισμα του οργάνου τους σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα όργανα της ορχήστρας.

Βασισμένοι στη μεθοδολογία που προτείνει ο Hinrichsen [215] εκφράζουμε την αρμονικότητα (harmonicity) μέσω του μεγέθους της εντροπίας, το οποίο επιτρέπει τη μαθηματική ανίχνευση του ποσοστού των επικαλύψεων των φασματικών κορυφών. Σύμφωνα με τον Shannon η εντροπία (H) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$H = - \sum_I^N P(x_i) \log_b P(x_i) \quad (3-1)$$

Όπου $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ είναι οι πιθανές τιμές μίας μεταβλητής X και $P(x_i)$ είναι η πιθανότητα εμφάνισης της κάθε τιμής. Εκφράζουμε την εντροπία σε bit, οπότε επιλέγουμε η λογαριθμική βάση (b) να είναι ίση με δύο. Η εντροπία συνδέεται ως έννοια με την αβεβαιότητα. Η εντροπία μεγιστοποιείται όταν τα ενδεχόμενα είναι ισοπίθανα. Τότε είναι που μεγιστοποιείται η τυχαιότητα και ως εκ τούτου και η βεβαιότητα. Για παράδειγμα, η εντροπία του ριξίματος ενός δίκαιου κέρματος ($P(\text{κορώνα}) = P(\text{γράμματα}) = 0.5$) είναι 1bit. Όταν όμως το κέρμα είναι πειραγμένο ευνοώντας την κορώνα (π.χ. $P(\text{κορώνα}) = 0.99, P(\text{γράμματα}) = 0.01$) η εντροπία παίρνει χαμηλότερη τιμή (0.08 bits). Η εντροπία ενός συστήματος αυξάνεται ενόσω αυξάνεται η τυχαιότητα σε αυτό. Στα ηχητικά σήματα εν προκειμένω, ένα σήμα θορύβου έχει πολύ μεγαλύτερη εντροπία από έναν καθαρό τόνο (ημίτονο). Τα πιο οργανωμένα φάσματα έχουν χαμηλότερη εντροπία από τα μη οργανωμένα. Στην απλή περίπτωση δύο μονοσυχνοτικών τόνων, πανομοιότυπων στην ένταση και στο εύρος, όσο περισσότερο αλληλεπικαλύπτονται, τόσο περισσότερο οργανωμένο θεωρείται το κοινό τους φάσμα, και ως εκ τούτου τόσο η εντροπία μειώνεται (Εικόνα 3-2). Στην εργασία αυτή η εντροπία ανιχνεύει αλληλεπικαλυπτόμενα partials, ως ένδειξη συμφωνίας (consonance) και αρμονικότητας. [215]

Για να εκφράσουμε την αρμονικότητα μέσω της εντροπίας, εκφράζουμε το φάσμα ισχύος (power spectrum $PS(f)$) ως πυκνότητα πιθανότητας (probability density, $pd(f)$). Η άθροιση όλων των πιθανοτήτων κάθε τιμής ενός δειγματικού χώρου ισούται με ένα. Για να εκφραστεί η ιδιότητα αυτή, κανονικοποιούμε το φάσμα ισχύος στο συνεχές πεδίο μέσω του μεγέθους της συνολικής ισχύος (total power, $PS_{tot} = \int_0^\infty PS(f)df$).

$$pd(f) = PS_{norm}(f) = \frac{PS(f)}{PS_{tot}} \quad (3-2)$$

Η πυκνότητα πιθανότητας ($pd(f)$) γίνεται έτσι σύμφωνη με τις ιδιότητες:

$$0 \leq pd(f) \leq 1, \text{ για } f > 0 \quad \text{και} \quad (3-3)$$

$$\int_0^{\infty} pd(f)df = 1$$

Η εντροπία του φάσματος ισχύος ορίζεται ως:

$$H = \int_0^{\infty} pd(f) \log_2 pd(f) df \quad (3-4)$$

Το κανονικοποιημένο φάσμα ισχύος ($pd(f)$) εκφράζει το σχετικό πλάτος κάθε συχνότητας λαμβάνοντας υπόψιν α) το πόσο κοντά είναι οι φασματικές γραμμές στο φάσμα της ακουστικής πίεσης και β) έναν συντελεστή βάρους για κάθε μια από τις συχνότητες σε σχέση με την έντασή τους.

3.3.2 Η μέθοδος του Entrotuner

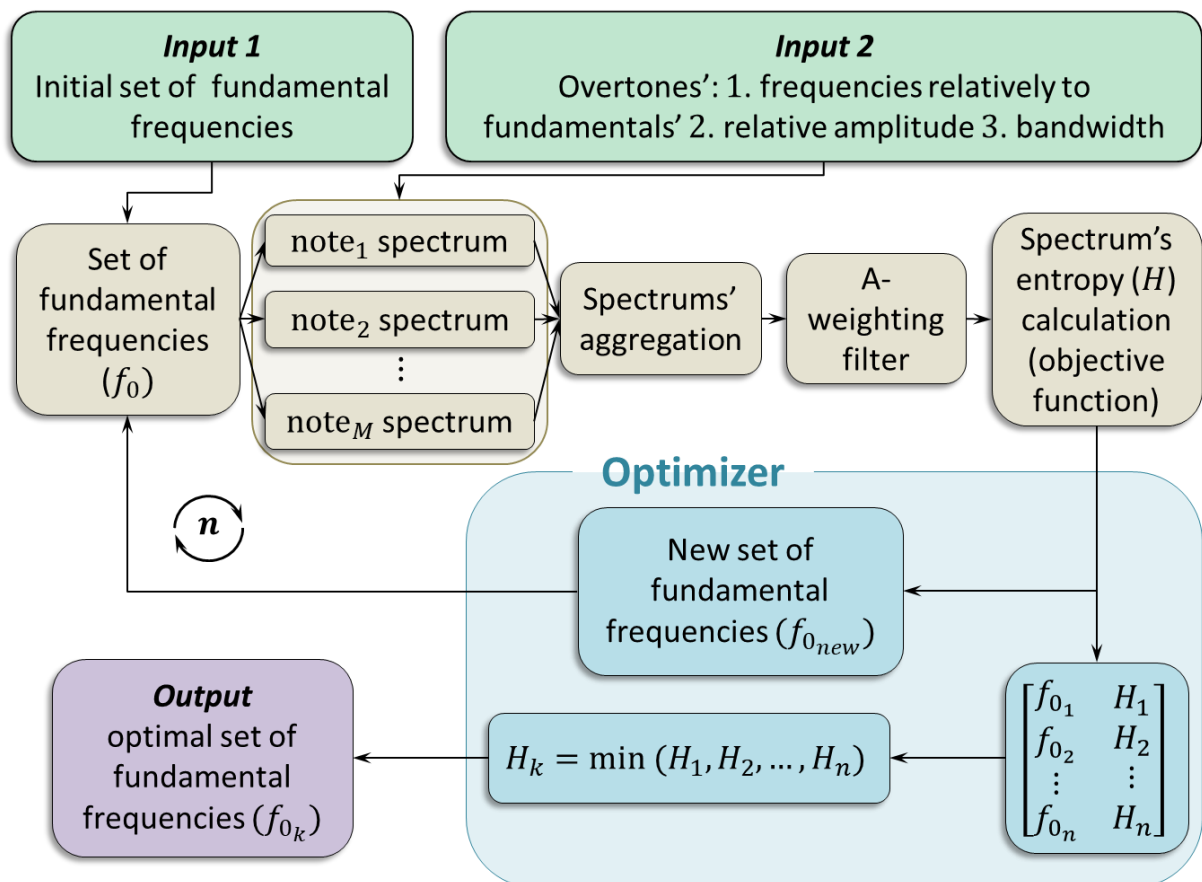
Η έξοδος του Entrotuner είναι ένα σετ το οποίο περιλαμβάνει τις θεμελιώδεις συχνότητες τις οποίες ένας μουσικός αναμένεται να αναπαράξει με το συγκεκριμένο όργανο. Ως είσοδο παίρνει ένα αρχικό σετ θεμελιωδών συχνοτήτων. Βασισμένος σε τεχνικές βελτιστοποίησης (optimization) προτείνει νέα σετ συχνοτήτων τα οποία παράγουν ένα περισσότερο αρμονικό ήχο (το συνολικό φάσμα παρουσιάζει μικρότερη εντροπία) και περισσότερο ακριβές κούρδισμα (εκπληρώνοντας συγκεκριμένα μουσικολογικά κριτήρια τα οποία ορίζει το τονικό σύστημα). Το τονικό σύστημα ορίζει θεωρητικά τις θεμελιώδεις συχνότητες των νοτών οι οποίες εντάσσονται σε αυτό. Σε περίπτωση που το τονικό σύστημα είναι άγνωστο (όπως για παράδειγμα αυτά των αρχαίων πολιτισμών), οι νότες οι οποίες εκτιμάται ότι έπρεπε να παράξει το όργανο προσεγγίζονται από φυσικές προσομοιώσεις των μουσικών οργάνων ή από υποθέσεις βασισμένες σε γραπτά τεκμήρια.

Ο Entrotuner λειτουργεί στο πεδίο των συχνοτήτων. Για να μπορεί να δημιουργήσει το φάσμα κάθε μεμονωμένης νότας χρειάζεται να γνωρίζει τη θεμελιώδη συχνότητες, τη συχνότητα των υπερτόνων, το σχετικό πλάτος και το εύρος κάθε partial (Input 1 και 2, Εικόνα 3-3). Όταν το υπό μελέτη όργανο είναι διαθέσιμο σε καλή κατάσταση είναι εύκολο να αποφανθούμε για το ηχόχρωμά του, δηλαδή για τις παραμέτρους του Input 2, Εικόνα 3-3. Σε αντίθετη περίπτωση, μπορεί να μελετηθεί ένα αντιπροσωπευτικό όργανο από την ίδιο οικογένεια οργάνων, ή να χρησιμοποιηθούν φυσικά μοντέλα (όπως η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων, Finite Elements Method).

Ένας από τους πιο βασικούς στόχους ενός μουσικού είναι η παραγωγή ευχάριστων και αρμονικών ήχων. Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάσαμε την εντροπία ως δείκτη της αρμονικότητας ενός φάσματος (αύξηση της αρμονικότητας συνεπάγεται μείωση της εντροπίας). Η objective function του optimizer ο οποίος ενυπάρχει στον Entrotuner είναι η εντροπία (Εικόνα 3-3). Παρόλο που ο παίκτης του οργάνου είναι σε θέση να αναδιαμορφώνει το τονικό ύψος μέσω τεχνικών παιξίματος (π.χ., αλλάζοντας τον τρόπο φυσήματος -by means of embouchure), το μουσικό όργανο είναι κατασκευασμένο με τρόπο ο οποίος ευνοεί την παραγωγή συγκεκριμένων νοτών. Το νέο σετ θεμελιωδών συχνοτήτων το οποίο δοκιμάζει σε κάθε επανάληψη ο optimizer (Εικόνα 3-3) πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων που επιτάσσει μορφολογικά το όργανο. Παράλληλα, ο Entrotuner, συνυπολογίζοντας το δεύτερο σκοπό του μουσικού (δηλαδή

την αναπαραγωγή ενός συγκεκριμένου τονικού συστήματος) τα προαναφερθέντα όρια πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τα διαστήματα τα οποία ορίζει το τονικό σύστημα.

Σε κάθε επανάληψη ο optimizer δημιουργεί ένα σετ από θεμελιώδεις συχνότητες οι οποίες βρίσκονται μεταξύ των προκαθορισμένων ορίων. Ο Entrotuner χρειάζεται ένα σετ θεμελιωδών συχνοτήτων (το οποίο δημιουργείται σε κάθε επανάληψη) και στοιχεία για το ηχόχρωμα του οργάνου (Input 2, Εικόνα 3-3) ώστε να μπορεί να δημιουργήσει το φάσμα κάθε νότας (δεύτερο βήμα καφέ κουτί, Εικόνα 3-3). Επειδή το όργανο εξετάζεται ολιστικά αναφορικά με τις μουσικές δυνατότητες που παρέχει, πρέπει να εξετασθούν όλοι οι συνδυασμοί νοτών (είτε μελωδικά είτε συγχορδιακά-αρμονικά). Για να επιτευχθεί αυτό, κατασκευάζεται το αθροιστικό φάσμα (δηλαδή το φάσμα κάθε νότας προστίθεται στο φάσμα των υπόλοιπων) (τρίτο βήμα καφέ κουτί, Εικόνα 3-3). Για να κατασκευασθεί η φασματική απεικόνιση κάθε συχνότητας του συχνοτικού περιεχομένου, με δεδομένο ότι αυτή έχει στην πραγματικότητα σχήμα καμπάνας, χρησιμοποιούνται γκαουσιανοί παλμοί, όπως έχει προταθεί στο [215]. Στο επόμενο βήμα, για να συνυπολογισθούν ψυχοακουστικά φαινόμενα, εφαρμόζεται στο συνολικό φάσμα ένα A-weighting φίλτρο. Έπειτα, υπολογίζεται η objective function.



Εικόνα 3-3 Το block diagram του Entrotuner, το οποίο απεικονίζει τις παραμέτρους εισόδου και τις διαδικασίες ανάδρασης οι οποίες επιτελούνται ώστε να εξαχθεί το βέλτιστο σετ θεμελιωδών συχνοτήτων του μουσικού οργάνου.

Ο αριθμός των επαναλήψεων (n , Εικόνα 3-3) που χρειάζεται για να επιτευχθεί καλή απόδοση εξαρτάται από τον αριθμό των μεταβλητών και τη μέθοδο optimization που θα υιοθετηθεί. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία του optimization, ο Entrotuner εξάγει το βέλτιστο σετ θεμελιωδών συχνοτήτων, το οποία βέλτιστα αποτυπώνει τους στόχους του μουσικού αναφορικά με την παραγωγή ήχων.

Επειδή κάθε μουσικό όργανο απαιτεί διαφορετικό αριθμό μεταβλητών (δηλαδή, θεμελιωδών συχνοτήτων) και ανάλογα τη μαθηματική περιγραφή του τονικού συστήματος η οποία θα ενσωματωθεί στην objective function μέσω των ορίων, δεν είναι δυνατό να προταθεί μία τεχνική optimization. Η επιλογή της είναι πολυπαραγοντική και σε κάθε περίπτωση ενδέχεται να λειτουργούν αποδοτικότερα και ταχύτερα διαφορετικές τεχνικές.

3.4 Ο Αυλός ως μελέτη περίπτωσης του Entrotuner

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε το πώς ο Entrotuner εφαρμόζεται στην περίπτωση του Αυλού του Λούβρου. Επιλέξαμε το συγκεκριμένο όργανο επειδή έχει ήδη μελετηθεί [194], [212], το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να συγκρίνουμε τα δικά μας αποτελέσματα με αυτά προηγούμενων προσεγγίσεων και έτσι, να αξιολογήσουμε τη μεθοδολογία μας.

3.4.1 Προϋπάρχουσες εργασίες

Ο Αυλός είναι ένα όργανο που έχει μελετηθεί εκτενώς. [193], [216]–[222] Αποτελείται από δύο σωλήνες, η κάθε μία με διπλό γλωσσίδι. Ο εκτελεστής φυσάει ταυτόχρονα και τους δύο σωλήνες. Στις περισσότερες περιπτώσεις από τους Αυλούς που έχουν βρεθεί στις ανασκαφές λείπει το πάνω τμήμα τους, η γλωσσίδα. [218] Αυτό συνεπάγεται ότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με ακρίβεια το πραγματικό μήκος του οργάνου (L), το οποίο αποτελείται από το τμήμα που έχει βρεθεί ($L_{excavated}$) και από το γλωσσίδα που λείπει (x). Ο Landels ήταν ο πρώτος ο οποίος πρότεινε μία μέθοδο η οποία επιτρέπει τον μαθηματικό υπολογισμό των παραγόμενων τόνων, παρά τον περιορισμό του άγνωστου πραγματικού μήκους του οργάνου, βασισμένος στους νόμους της φυσικής οι οποίοι διέπουν τα πνευστά όργανα. [218], [222] Το μήκος κύματος (λ) της θεμελιώδους συχνότητας από έναν κλειστό-ανοιχτό σωλήνα μήκους (L) υπολογίζεται προσεγγιστικά ως εξής [223]:

$$\lambda = 4L \quad (3-5)$$

Η εξίσωση (3-5) ισχύει για κάθε κλειστό-ανοιχτό σωλήνα. Θεωρώντας ότι το άνοιγμα της γλωσσίδας είναι ιδιαίτερα μικρό, ο κάθε σωλήνας του Αυλού μπορεί να θεωρηθεί ως κλειστός-ανοιχτός. Επίσης, όταν υπάρχει ανοιχτή οπή, το τμήμα που ακολουθεί από την οπή αυτή μέχρι την καμπάνα μπορεί να αγνοηθεί, επομένως, το μήκος του σωλήνα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι αυτό από το επιστόμιο μέχρι την πρώτη ανοιχτή οπή. [224]

Η αρχαία ελληνική μουσική δομήθηκε πάνω στο διάστημα της τέταρτης καθαρής (λόγος θεμελιωδών 4/3). Είναι βάσιμο να θεωρούμε ότι οι Αυλοί ήταν κουρδισμένο με τρόπο ώστε το διάστημα αυτό να εμφανίζεται αναντίρρητα. Έτσι, πρέπει να υπάρχουν δύο τρύπες (των οποίων η απόσταση από την αρχή του τμήματος του οργάνου που έχει

βρεθεί είναι L_1 και L_2 αντίστοιχα), οι οποίες παράγουν το διάστημα της τέταρτης καθαρής. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να υπολογίσουμε το πραγματικό μήκος του σωλήνα, καθώς και το μήκος του επιστομίου, από τον αναμενόμενο λόγο των μηκών κύματος:

$$\frac{x + L_1}{x + L_2} = \frac{4}{3} \quad (3-6)$$

Άραξ και προσδιορισθεί το μήκος του επιστομίου, τότε είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε το πραγματικό μήκος του σωλήνα για κάθε τρύπα, επομένως μπορούμε να αποφανθούμε για τις νότες του οργάνου.



Εικόνα 3-4 Αυλητής σε συμπόσιο. Μουσείο του Λούβρου G 467.⁹¹

$$\frac{x + L_1}{x + L_2} = \frac{4}{3}$$

Ο Landels πρότεινε μία μέθοδο η οποία λαμβάνει υπόψη μόνο το μήκος από την αρχή του οργάνου μέχρι την πρώτη ανοιχτή τρύπα και με χρήση της εξίσωσης (3-5) υπολογίζει το σετ των θεμελιωδών συχνοτήτων του οργάνου. Ο Hagel, βασισμένος στον Benade [225], εξέλιξε τη φυσική περιγραφή του ενεργού μήκους του σωλήνα προσθέτοντας ένα διορθωτικό παράγοντα (end correction) ο οποίος προκύπτει από επιπλέον φυσικές παραμέτρους (όπως η ταχύτητα του αέρα και η διάμετρος τόσο του σωλήνα όσο και της τρύπας). Επίσης, ενώ η μέθοδος του Landels μελετά κάθε σωλήνα ξεχωριστά, ο Hagel

⁹¹ [https://en.wikipedia.org/wiki/Aulos#/media/File:Banquet Euaion Louvre G467 n2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Aulos#/media/File:Banquet_Euaion_Louvre_G467_n2.jpg)

[194], λαμβάνοντας υπόψη τις ενδείξεις οι οποίες υποστηρίζουν ότι η αρχαία ελληνική μουσική ήταν ως επί το πλείστον ετεροφωνική, υποστήριξε ότι οι τόνοι οι οποίοι δημιουργούν τα σύμφωνα διαστήματα δεν πρέπει μόνο να αναζητούνται στον κάθε επιμέρους σωλήνα, αλλά συνδυαστικά στους δύο σωλήνες του Αυλού. Η μέθοδος του εφαρμόζεται σε κάθε τρύπα μεμονωμένα.

Οι Andreopoulou και Roginska [201], επέκτειναν τη μεθοδολογία του Landels, μέσω της υλοποίησης ενός ψηφιακού φυσικού μοντέλου του μουσικού οργάνου. Ενώ ο Landels παίρνει υπόψη μόνο την αέρια στήλη εσωτερικά του σωλήνα, η μέθοδος αυτή είναι περισσότερο αναλυτική και πλήρης, αφού συμπεριλαμβάνει επιπλέον φυσικές παραμέτρους, όπως ο τύπος του γλωσσιδιού, η τοποθέτηση και το μέγεθος των τρυπών, το ενεργό μήκος του σωλήνα και η εσωτερική και εξωτερική διάμετρος του. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι θεμελιώδεις συχνότητες και έπειτα αναγνωρίζονται τα πιθανά τετράχορδα.

Οι προαναφερθείσες μέθοδοι περιγράφουν τρόπους εκτίμησης των παραγόμενων τόνων, των διαστημάτων και του κουρδίσματος του Αυλού. [194], [201], [218], [222] Ο κοινός τους τόπος είναι η σύνδεση των φυσικών ιδιοτήτων του μουσικού οργάνου με τις τεκμηριωμένες υποθέσεις για τα αρχαία ελληνικά μουσικά τονικά συστήματα. Η συνεισφορά τους είναι πολύ σημαντική γιατί επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση της χρήσης του οργάνου στο μουσικό σύστημα της εποχής. Παρόλ' αυτά, αγνοούν έναν σημαντικό παράγοντα, την αλληλεπίδραση του μουσικού με το όργανο.

Το χόρδισμα των εγχόρδων γίνεται πριν το παίξιμο, με τη ρύθμιση της τάσης των χορδών. Στα πνευστά όργανα, ο μουσικός μπορεί εκ νέου να χορδίσει σε πραγματικό χρόνο το όργανο ενώ παίζει (intonation) μέσω διάφορων τεχνικών. [198] Για το λόγο αυτό, μία μελέτη η οποία περιορίζεται μόνο στις γεωμετρικές και φυσικές ιδιότητες του πνευστού οργάνου και στους δαχτυλισμούς, δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με την εκτίμηση των παραγόμενων τόνων. Από την άλλη, ενώ ο πνευστός μουσικός είναι σε θέση να αναδιαμορφώνει με ευκολία το τονικό ύψος, αυτό δεν συνεπάγεται ότι τα πνευστά όργανα δεν ήταν σχεδιασμένα με τρόπο ώστε να ευνοεί συγκεκριμένα κουρδίσματα. Η αναπαραγωγή του μουσικού συστήματος της εποχής επέβαλε στους οργανοποιούς να ακολουθήσουν συγκεκριμένα κατασκευαστικά μοτίβα. [190]

3.4.2 Χτίζοντας το μοντέλο

Η μέθοδος μας δεν αναιρεί τις προηγούμενες αλλά τις επεκτείνει. Ουσιαστικά δέχεται ως είσοδο το σετ συχνοτήτων το οποίο προκύπτει από τους δύο παράγοντες οι οποίοι είναι οι πυλώνες των προηγούμενων μεθοδολογιών, δηλαδή η φυσική του οργάνου και το τονικό σύστημα, και στο επόμενο στάδιο υπεισέρχεται υπολογιστικά η αλληλεπίδραση του χρήστη. Στην περίπτωση του Αυλού του Λούβρου, το πρωταρχικό σετ θεμελιωδών συχνοτήτων, πριν τον επανακαθορισμό του λόγω της αλληλεπίδρασης του χρήστη, παρέχεται από τον Hagel [212].

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τον προγραμματισμό του Entrotuner να σχεδιάσει το φάσμα του μουσικού οργάνου. Επειδή το να κάνει κανείς να ηχήσει ένα όργανο που προέρχεται από ανασκαφές είναι δύσκολη διαδικασία καθώς τμήματα του οργάνου

ενδέχεται να λείπουν και το όργανο είναι εύθραυστο, τα φασματικά χαρακτηριστικά (συχνότητες των υπερτόνων, σχετικό πλάτος και εύρος των partial) [226], [227] προκύπτουν από ηχογραφήσεις. Ενώ ο Hagel [194] χρησιμοποιεί για τα φασματικά χαρακτηριστικά θεωρητικές τιμές βασισμένες σε ιδανικά μοντέλα και υποθέσεις, εμείς, αντίθετα, χρησιμοποιούμε τιμές οι οποίες προήλθαν από μεμονωμένες νότες οι οποίες αναπαρήχθησαν και από τους δύο σωλήνες μιας 1:1 κλίμακας ρεπλίκα του Αυλού της Ποσειδωνίας (Εικόνα 3-5), ο οποίος χρονολογείται στον 5^ο αι. π.Χ.. Το συγκεκριμένο όργανο επιλέχθηκε γιατί είναι ένα τυπικό, αντιπροσωπευτικό όργανο της οικογένειας των Αυλών της κλασικής εποχής αναφορικά με τη χρονολογία, τη γεωμετρία, το υλικό και τη λειτουργία. Ως εκ τούτου, η ακουστική μελέτη του επιτρέπει την εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων σχετικά με τον ήχο των αυλών της κλασικής εποχής. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούσαμε μία ηλεκτροακουστική αλυσίδα (microphone: SD Systems LCM 85 MK II with “LP” Preamp Power Supply, soundcard: apogee duet, computer: MacBook air 2019) με επίπεδη απόκριση συχνότητας σε ένα μη αντηχητικό χώρο. Οι ηχογραφήσεις έγιναν στο στούντιο του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, στις 30 Σεπτεμβρίου 2019. Ο Δρ. Αρχαιομουσικολογίας Χρήστος Τερζής αναπαρήγαγε κάθε μεμονωμένη νότα για τους πιθανούς δαχτυλισμούς του οργάνου. Από τις ηχογραφήσεις μελετήσαμε το φάσμα του steady-state σήματος.



Εικόνα 3-5 Ρεπλίκα του Αυλού της Ποσειδωνίας, ανακατασκευασμένη από τον Δρ. Χ. Τερζή

Ο προσδιορισμός του inharmonicity έγινε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και εκφράστηκε από την απόκλιση σε cents (c) (Εξίσωση (3-7) και το σχετικό πλάτος (A) (Εξίσωση (3-8) για κάθε πιθανό υπερτόνο (n). Ο αριθμός των δεκαδικών ψηφίων της εξίσωσης (3-8) παίζει σημαντικό ρόλο στη δυνατότητα παραγωγής του ακριβούς φάσματος.

$$c[n] = 0.0004n^5 - 0.0176n^4 + 0.2346n^3 - 1.324n^2 + 2.886n - 1.852 \quad (3-7)$$

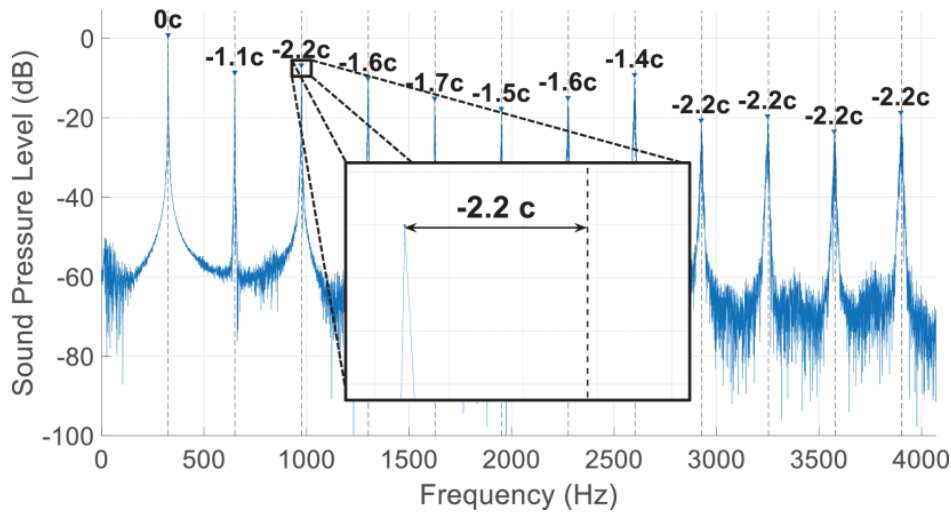
$$A[n] = 0.003115n^6 - 0.125597n^5 + 1.970063n^4 - 15.107851n^3 + 58.485978n^2 - 106.589891n + 60.926148 \quad (3-8)$$

Για να ληφθούν υπόψη όλες οι ενδεχόμενες μελωδίες και συγχορδίες που δύναται να παράξει το όργανο, δημιουργούμε το αθροιστικό φάσμα όλων των τόνων οι οποίοι παίζονται από όλους τους πιθανούς δαχτυλισμούς και για τους δύο σωλήνες του Αυλού και υπολογίζουμε την εντροπία αυτού του συνολικού φάσματος. Τα στοιχεία που απαιτούνται για τη σύνθεση του φάσματος είναι οι θεμελιώδεις συχνότητες (εξάγονται θεωρητικά από τη γεωμετρία του οργάνου [194], [212], [225]), οι συχνότητες των υπερτόνων και το σχετικό πλάτος (εξάγονται από τις εξισώσεις (3-7) και (3-8)). Το απλοποιημένο μοντέλο των κυλινδρικών οργάνων με γλωσσίδα περιγράφεται από τους κανόνες της μουσικής ακουστικής ως κλειστοί-ανοιχτοί σωλήνες, οι οποίοι, θεωρητικά, παράγουν μόνο περιττούς αρμονικούς. [228] Παρόλ' αυτά, οι μετρήσεις και οι ηχογραφήσεις αποκαλύπτουν την ύπαρξη και άρτιων αρμονικών, όπως έχει παρατηρηθεί σε συγκεκριμένα ρετζίστρα παρόμοιων κυλινδρικών οργάνων με γλωσσίδα, όπως το κλαρινέτο [229], [230]. Στην Εικόνα 3-6 παρουσιάζουμε το φάσμα μίας ηχογράφησης της νότας E4 του ανακατασκευασμένου Αυλού της Ποσειδωνίας. Για τους υπολογισμούς μας, συνυπολογίσαμε μόνο τους υπερτόνους τον οποίο η ισχύς ήταν έως και 20dB χαμηλότερη από αυτή της θεμελιώδους. Αγνοήσαμε τις υπόλοιπες ως μη σημαντικές. Κατά μέσο όρο ο αριθμός των partial που πληρούσαν αυτό το κριτήριο ήταν δώδεκα. Αυτός ήταν επομένως ο αριθμός των partial που επιλέξαμε για να συνθέσουμε το φάσμα. Το εύρος κάθε συχνοτικής κορυφής εξήχθη από μετρήσεις. Για την προσομοίωσή του εφαρμόσαμε μία κανονική κατανομή τυπικής απόκλισης $\sigma = 5cents$. Ένα παράδειγμα ενός ψηφιακού φάσματος συγκρινόμενο με το ηχογραφημένο απεικονίζεται στην Εικόνα 3-7. Τέλος, για να συνυπολογισθεί η επίδραση του μουσικού, εφαρμόζουμε ένα A-weighted φίλτρο στο φάσμα ώστε να προσομοιωθεί ο τρόπος που ο άνθρωπος προσλαμβάνει τον ήχο. [231]

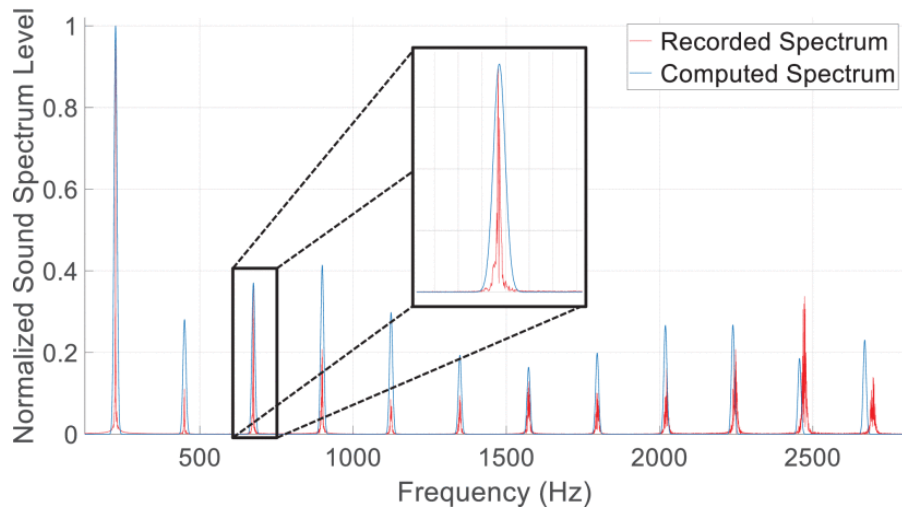
Για να μελετήσουμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς τόνων που δημιουργούνται και από τους δύο σωλήνες του Αυλού συνθέτουμε το συνολικό φάσμα. Η εντροπία του φάσματος προσδιορίζει την αρμονικότητα μεταξύ όλων των συνδυασμών των ήχων. Ένας αυλητής προσβλέπει σε όσο το δυνατόν πιο αρμονικό αποτέλεσμα με το να μετατοπίζει ελαφρώς τη θεμελιώδη.

Η objective function του optimizer είναι η εντροπία. Ο στόχος του Entrotuner είναι να βρει εκείνο το σετ θεμελιωδών συχνοτήτων για το οποία η εντροπία του συνολικού φάσματος του Αυλού ελαχιστοποιείται. Επαναλαμβανόμενα μοτίβα στην κατασκευή των αρχαίων μουσικών οργάνων αποκαλύπτουν ότι τα όργανα ήταν σχεδιασμένα για να

αναπαράξουν συγκεκριμένες συχνότητες. [190] Ως εκ τούτου, το προτεινόμενο τροποποιημένο σετ των θεμελιωδών συχνοτήτων δεν πρέπει να αποκλίνει σημαντικά από το αρχικό. [212] Για το λόγο αυτό επιβάλλαμε δύο οριοθετήσεις στις μεταβλητές (το σετ των θεμελιωδών) τις οποίες ο optimizer δοκιμάζει σε κάθε επανάληψη: α. Απόκλιση των θεμελιωδών κατά ± 20 cents (όπως σε [194], [201]) και β. Απόκλιση των σημαντικών διαστημάτων τα οποία σχηματίζουν οι θεμελιώδεις έως και ± 5 cents για τουλάχιστον τα μισά από αυτά. Ως σημαντικά διαστήματα (αναφορικά με τη β. οριοθέτηση) θεωρούμε την τέταρτη ($a_{k1} = 4/3$), την Πέμπτη ($a_{k2} = 3/2$), την οκτάβα ($a_{k3} = 2/1$) και την ταυτοφωνία ($a_{k4} = 1/1$). Αυτή η οριοθέτηση αφορά τους λόγους συχνοτήτων των θεμελιωδών οι οποίοι εξαρχής παρουσιάζουν μία σαφή τάση προς τα προαναφερθέντα αυτά διαστήματα. Από το αρχικό σετ θεμελιωδών προκύπτουν 45 σημαντικά διαστήματα [212] (τα οποία αποκλίνουν έως και ± 20 cents από τον τέλειο λόγο των αντίστοιχων διαστημάτων). Ο optimizer μας αποδέχεται σετ θεμελιωδών τα οποία συγκροτούν τουλάχιστον 23 σημαντικά διαστήματα τα οποία προσεγγίζουν ένα τέλειο κούρδισμα μέγιστης απόκλισης ± 5 cents, βάση της διακριτικής ικανότητας της ανθρώπινης ακοής (Just Noticeable Difference) [232]. Ο Πίνακας 3-1 δείχνει τις πρώτες τέσσερις θεμελιώδεις για κάθε σωλήνα του Αυλού [212], τέσσερα σημαντικά διαστήματα και τα όριά τους.



Εικόνα 3-6 Το φάσμα και το inharmonicity του ανακατασκευασμένου Αυλού της Ποσειδωνίας, το οποίο παίζει τη θεμελιώδη συχνότητα των 325.3Hz. Η απόκλιση σε cents από τη θεωρητική τιμή των αρμονικών (ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους, απεικονίζονται με γραμμές από τελείες)



Εικόνα 3-7 Το φάσμα ενός τόνου για θεμελιώδη συχνότητα στα 225Hz. Η κόκκινη γραμμή απεικονίζει το φάσμα του ηχογραφημένου σήματος του Αυλού της Ποσειδονίας και η μπλε το φάσμα που δημιουργεί ο Entrotuner.

	Initials	Bounds
Fundamentals low pipe (Hz)	$f_{A1}=183.5$	
	$f_{A2}=206.4$	
	$f_{A3}=218.5$	$[f_{Ax} - 2 \frac{20}{1200} f_{Ax}, f_{Ax} + 2 \frac{20}{1200} f_{Ax}]$
	$f_{A4}=243.9$	
	...	
Fundamentals high pipe (Hz)	$f_{B1}=182.5$	
	$f_{B2}=214.6$	
	$f_{B3}=244.2$	$[f_{By} - 2 \frac{20}{1200} f_{By}, f_{By} + 2 \frac{20}{1200} f_{By}]$
	$f_{B4}=271.2$	
	...	
Significant intervals	$\frac{f_{A4}}{f_{A1}} \approx \alpha_{k1}$	
	$\frac{f_{B1}}{f_{A8}} \approx \frac{1}{\alpha_{k3}}$	$[\alpha_{kw} - 2 \frac{5}{1200} \alpha_{kw}, \alpha_{kw} + 2 \frac{5}{1200} \alpha_{kw}]$
	$\frac{f_{B9}}{f_{A3}} \approx \alpha_{k3}$	or
	$\frac{f_{B9}}{f_{A4}} \approx \frac{1}{\alpha_{k1}}$	$[\frac{1}{\alpha_{kw}} - 2 \frac{5}{1200} \frac{1}{\alpha_{kw}}, \frac{1}{\alpha_{kw}} + 2 \frac{5}{1200} \frac{1}{\alpha_{kw}}]$
	...	
	...	

Πίνακας 3-1 Το αρχικό σετ θεμελιωδών συχνοτήτων όπως περιγράφεται στο [212] καθώς και τα όρια των μεταβλητών τις οποίες δοκιμάζει ο optimizer σε κάθε επανάληψη.

Για να υπολογίσουμε το βέλτιστο σετ θεμελιωδών συχνοτήτων, δοκιμάζουμε τέσσερις μεθόδους optimization. Συγκρίνουμε την απόδοσή τους ώστε να προτείνουμε τη βέλτιστη η οποία ανταποκρίνεται καλύτερα στους στόχους του Entrotuner. Οι μέθοδοι που δοκιμάστηκαν ήταν: a. μέθοδος Nelder-Mead, b. τροποποιημένη μέθοδος του Hinrichsen's (χωρίς κβαντισμένο βήμα), c. αρχική μέθοδος του Hinrichsen's με κβαντισμένο βήμα του 1 cent για τις μεταβλητές, όπως έχει προταθεί από τον συγγραφέα [207] και d. Simulated Annealing. Για να προσδιορίσουμε την απόδοση των μεθόδων εκτελέσαμε τους ανάλογους αλγορίθμους για 100 φορές με 50k επαναλήψεις τη φορά.

Εξαίρεση αποτελεί η μέθοδος Nelder-Mead η οποία έτρεξε μόλις μια φορά, αφού η συνάρτηση “fminsearch” του MATLAB η οποία εφαρμόζει τη μέθοδο αυτή, εκτελείται πανομοιότυπα κάθε φορά. Η μέθοδος Nelder-Mead και η μέθοδος Hinrichsen’s χωρίς κβάντιση πέτυχαν την καλύτερη τιμή της objective (ελάχιστη τιμή μετά από 50k επαναλήψεις = 13.3948). Παρόλ’ αυτά, η μέθοδος του Hinrichsen’s χωρίς κβάντιση πέτυχε την τιμή αυτή μόνο 6% των φορών που εκτελέστηκε. Επίσης, η μέθοδος Nelder-Mead πετυχαίνει την καλύτερη τιμή γρηγορότερα (7.2k επαναλήψεις), σε σχέση με την Hinrichsen’s χωρίς κβάντιση (25k– 48k επαναλήψεις). Η προτεινόμενη από τον Hinrichsen μέθοδο (με κβάντιση) φτάνει τη βέλτιστη τιμή της (13.3958) σε λιγότερες από 700 επαναλήψεις αλλά δεν είναι τόσο αποδοτική σε σχέση με τη συνολική βέλτιστη τιμή. Η μέθοδος Simulated Annealing αποδείχθηκε η λιγότερο αποδοτική καθώς η βέλτιστη τιμή της απέχει αρκετά από τη συνολική βέλτιστη (13.4974). Ο Πίνακας 3-2 περιγράφει την απόδοση κάθε optimizer.

	Best cost	% Best overall cost
Nelder-Mead	13.3948	100%
Hinrichsen’s modified (no quantization)	13.3948	6%
Hinrichsen’s original method	13.3959	0%
Simulated Annealing	13.4974	0%

Πίνακας 3-2 Η απόδοση κάθε optimizer

3.5 Αποτελέσματα και απόδοση του Entrotuner

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η απόδοση του Entrotuner για τη μελέτη περίπτωσης του Αυλού του Λούβρου. Επίσης, παρουσιάζεται και η διαδικασία επαλήθευσης του μοντέλου.

3.5.1 Η περίπτωση του Αυλού του Λούβρου

Ο Πίνακας 3-3 παρουσιάζει το βέλτιστο σετ θεμελιωδών συχνοτήτων όπως εξήχθη από τον Entrotuner και τη μέθοδο του Hagel [212], η οποία αναφέρεται ως PBM (Physical Model Based Method – Μέθοδος βασισμένη σε Φυσικά Μοντέλα). Η αρίθμηση

των τρυπών είναι σε αύξουσα σειρά από το χαμηλότερο άκρο του οργάνου προς τη γλωσσίδα. Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε καμία τρύπα ανοιχτή. Ο μακρύτερος σωλήνας του αυλού του Λούβρου αναφέρεται ως pipe H (higher) και ο κοντότερος ως pipe L (lower). Η μέση τιμή της απόλυτης απόκλισης από τις θεμελιώδους είναι 10.3cents. Για 4 από τις 18 μεταβλητές (θεμελιώδεις) ο optimizer επέλεξε τιμές κοντά στη μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση όπως ορίστηκε στη μεθοδολογία ($\pm 18-20$ cents), ενώ μόνο δύο μεταβλητές παρέμειναν σχεδόν ίδιες (± 2 cents). Οι προτεινόμενες από τον Hagel τιμές παρουσιάζουν μεν εγγύτητα μεταξύ των αντίστοιχων τρυπών των δύο σωλήνων οι οποίες καταλήγουν σε σχεδόν ταυτοφωνία, αλλά όχι σχεδόν απόλυτη ταύτιση (καθαρή ταυτοφωνία, 0 cent απόκλιση) όπως ο Entrotuner (Πίνακας 3-4). Αυτό είναι καθαρή ένδειξη του πόσο σημαντικό για την πληρότητα της μεθοδολογίας είναι ο συνυπολογισμός της αλληλεπίδρασης του παίκτη. Ο λόγος είναι ότι ο παίκτης δύναται να αναδιαμορφώνει το τονικό ύψος καθώς παίζει στοχεύοντας σε όσο το δυνατόν πιο τέλειο κούρδισμα. Τα σύμφωνα διαστήματα που προκύπτουν από το προτεινόμενο σετ θεμελιωδών συχνοτήτων απεικονίζονται στον Πίνακα 3-4.

FH	Pipe L			Pipe H		
	Frequency (Hz)		Dev. (c)	Frequency (Hz)		Dev. (c)
	PMBM	ET		PMBM	ET	
0 (exit)	183.5	181.4	-20	182.6	181.4	-12
1	206.4	204.0	-20	214.6	216.8	18
2	218.5	216.8	-13	244.2	243.3	-7
3	243.9	243.3	-5	271.2	270.8	-3
4	269.5	270.8	8	288.3	289.5	7
5	288.3	289.5	7	324.7	325.1	2
6	327.8	325.1	-14	362.0	361.2	-4
7	363.5	361.2	-11	400.9	405.6	20
8	–	–	–	431.8	432.9	-2
9	–	–	–	484.4	486.2	-13

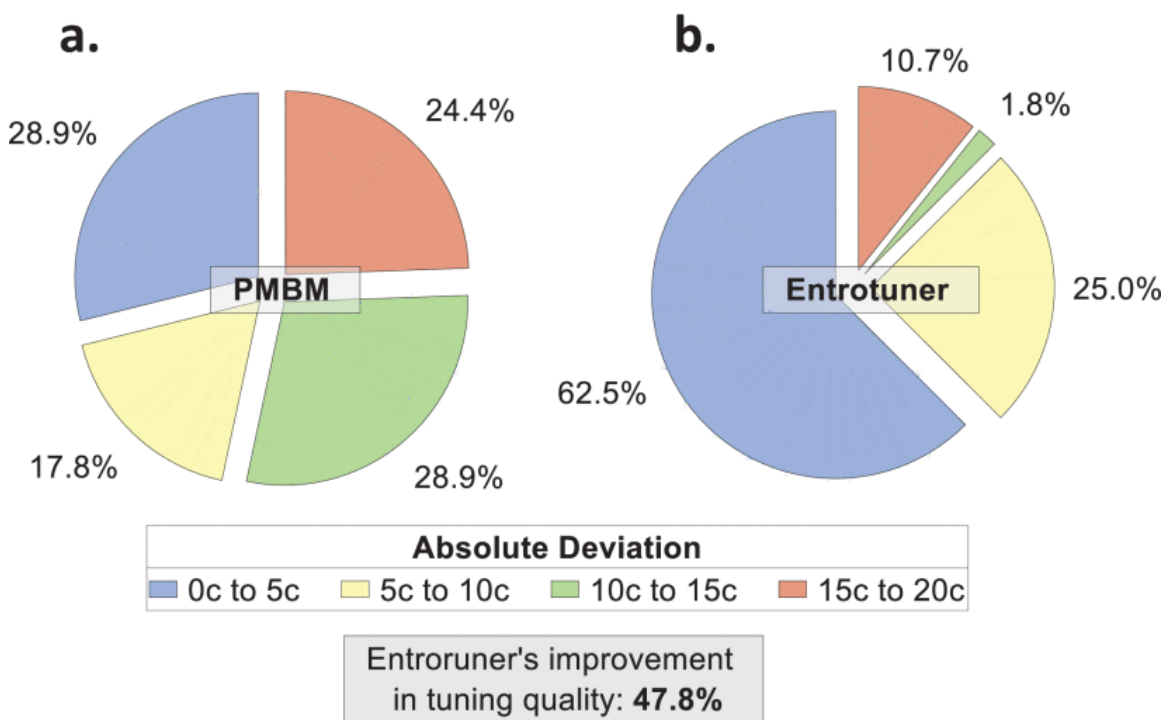
Πίνακας 3-3 Τα προτεινόμενα σετ θεμελιωδών συχνοτήτων: PMBM [212] και Entrotuner (FH: Fingerhole - Δαχτυλισμός, ET: Entrotuner, Dev: Deviation – Απόκλιση σε Cents)

Between Pipes L and H				Within Pipe L			
Int.	Hole on H	Hole on L	Dev. (c)	Int.	Hole 1	Hole 2	Dev. (c)
1:1	0	0	0	2:1	0	7	-8
1:1	1	2	0	3:2	0	4	-8
1:1	2	3	0	3:2	2	6	-1
1:1	3	4	0	3:2	3	7	-18
1:1	4	5	0	4:3	0	3	10
1:1	5	6	0	4:3	1	4	-8
1:1	6	7	0	4:3	2	5	2
2:1	0	7	-7	4:3	3	6	4
2:1	6	0	-8	4:3	4	7	1
2:1	7	1	-11				
2:1	8	2	-3				
2:1	9	3	-1				
3:2	0	4	-8				
3:2	1	6	-1				
3:2	2	7	-18				
3:2	3	0	-8				
3:2	5	2	-1				
3:2	6	3	-18				
3:2	7	4	-3				
3:2	8	5	-5				
3:2	9	6	-5				
4:3	0	3	10				
4:3	1	5	2				
4:3	2	6	4				
4:3	3	7	1				
4:3	2	0	10				
4:3	3	1	-8				
4:3	4	2	2				
4:3	5	3	4				
4:3	6	4	1				
4:3	8	6	-2				
4:3	9	7	17				

Within Pipe H			
Int.	Hole 1	Hole 2	Dev. (c)
2:1	0	6	-7
2:1	1	8	-3
2:1	2	9	-1
3:2	0	3	-8
3:2	1	5	-1
3:2	2	6	-18
3:2	3	7	-3
3:2	4	8	-5
3:2	5	9	-5
4:3	0	2	10
4:3	1	4	2
4:3	2	5	4
4:3	3	6	1
4:3	5	8	-2
4:3	6	9	17

Πίνακας 3-4 Τα σύμφωνα διαστήματα που προκύπτουν και η απόκλισή τους από τα καθαρά διαστήματα σε cents (Int.: Intervals - Διαστήματα, Dev: Deviation – Απόκλιση σε Cents)

Για να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματά μας, εξετάζουμε σε αυτά το κατά πόσον αντανακλάται η επίδραση του παίκτη, συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα του Hagel [212]. Όσον αφορά τον πρώτο στόχο, δηλαδή την παραγωγή τόνων σχετικών με ένα τονικό σύστημα, εξετάζουμε τον αριθμό των σημαντικών διαστημάτων που παράγονται (ταυτοφωνία, τέταρτη, πέμπτη και οκτάβα) καθώς και την τονική τους ποιότητα (πόσο απέχουν από τα τέλεια καθαρά διαστήματα). Τα δικά μας αποτελέσματα καταλήγουν σε 11 περισσότερο σύμφωνα διαστήματα από τον Hagel (56 έναντι 45). Επιπρόσθετα, πετυχαίνουμε σημαντική βελτίωση στο κούρδισμά τους. Το 62.5% των διαστημάτων που προκύπτουν βρίσκονται εντός του Just Noticeable Difference (απόκλιση έως ± 5 cents), και το 87.5% αποκλίνει μόλις έως ± 10 cents. Οι αντίστοιχες τιμές του Hagel είναι 28.9% και 46.7%. Ο μέσος όρος της απόλυτης απόκλισης είναι στη μέθοδό μας 5.46, ενώ για τον Hagel 10.46, βελτίωση κατά 47.8% (Εικόνα 3-8).



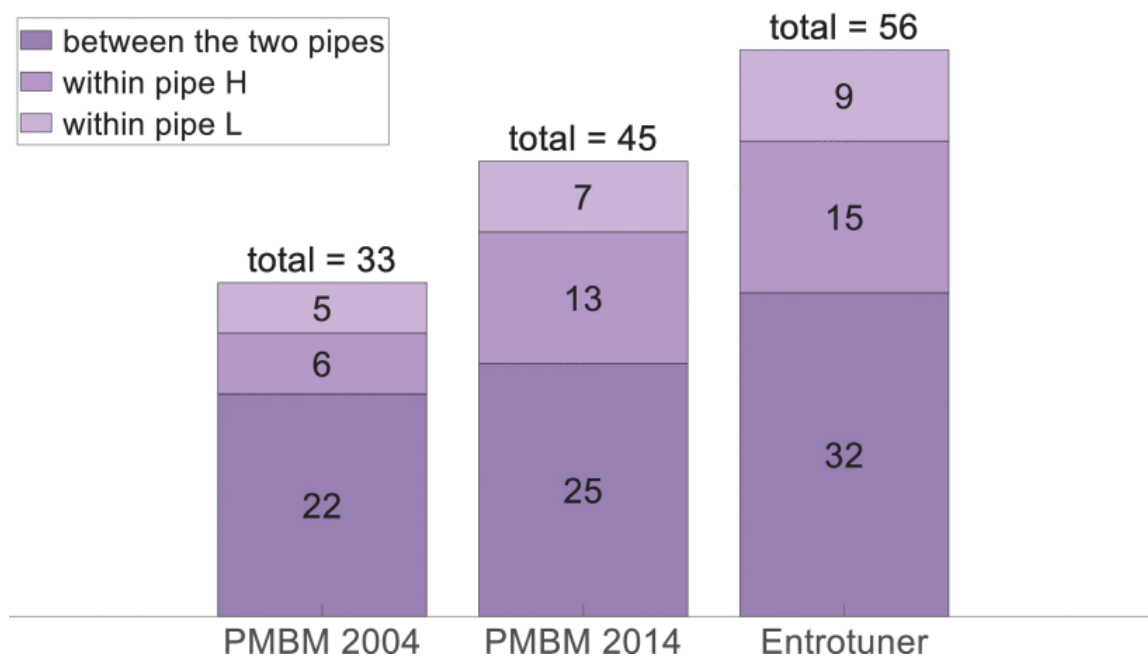
Εικόνα 3-8 Το ποσοστό συμφωνων διαστημάτων (ταυτοφωνία, οκτάβα, πέμπτη και τέταρτη) που προκύπτουν για τον Αυλό του Λούβρου και αποκλίνουν 0–5 cents (μπλε), 5–10 cents (κίτρινο), 10–15 cents (πράσινο) και 15–20 cents (κόκκινο). a. PMBM μέθοδος [212] και b. Entrotuner.

Η εντροπία του συνολικού φάσματος μειώθηκε κατά 0.341bits (από 13.736bits για το σετ θεμελιωδών του Hagel έπεσε σε 13.395bits για τις δικές μας τιμές). Ως εκ τούτου, η δική μας εκτίμηση καταλήγει σε ένα αρμονικότερο συνδυασμό των δυνατών συνδυασμών ήχων. Για να αποκτήσει ο αναγνώστης μία διαίσθηση του τι σημαίνουν οι τιμές αυτές της εντροπίας, παρουσιάζουμε δύο παραδείγματα: Α) η εντροπία του συνολικού φάσματος μίας διατονικής κλίμακας του φυσικού κούρδισματος (just intonation) είναι κατά 0.025bits μικρότερη από τη μουσική κλίμακα του δωδεκάφθογγου ισοσυγκερασμού (12-tone equal temperament), κάτι το οποίο είναι σύμφωνο με το

γεγονός ότι το φυσικό κούρδισμα παρέχει περισσότερο αρμονικό συνδυασμό τόνων από τον ισοσυγκερασμό [233], B) η εντροπία του φάσματος δύο τόνων οι οποίοι σχηματίζουν πέμπτη καθαρή είναι κατά 0.137bits μικρότερη από του εξαιρετικά διάφωνου τριτόνου (64/45).

Συμπερασματικά, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η μεθοδολογία μας όντως αντανakλά τους στόχους του παίκτη συγκρινόμενη με τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων και συγκροτημένων μελετών για τον Αυλό του Λούβρου.

Ο Hagel παρουσίασε την πρώτη του μελέτη για τον Αυλό του Λούβρου το 2004 [194]. Το 2014 παρουσίασε μία δεύτερη μελέτη στην οποία επαναυπολόγισε του παραγόμενους τόνους, με την ίδια μεθοδολογία, αλλά με ακριβέστερες γεωμετρικές λεπτομέρειες για το όργανο [212]. Η πιο πρόσφατη είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο αριθμό σύμφωνων διαστημάτων (Εικόνα 3-9, PMBM 2004 & 2014). Ο Entrotuner κατάφερε να βρει ακόμα περισσότερα σύμφωνα διαστήματα, 56 συνολικά (23 περισσότερα από την πρώτη μελέτη του Hagel και 11 περισσότερα από τη δεύτερη, Εικόνα 3-9). Η αύξηση στον αριθμό των σύμφωνων διαστημάτων είναι κριτήριο το οποίο επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της μεθοδολογίας. [212]



Εικόνα 3-9 Ο αριθμός των υπολογισμένων σύμφωνων διαστημάτων (ταυτοφωνία, οκτάβα, Πέμπτη και τέταρτη) που προκύπτουν για τον Αυλό του Λούβρου με μέγιστη απόκλιση ± 20 cents για τις μεθόδους PMBM 2004 [194], PMBM 2014 [212] και Entrotuner.

3.5.2 Επαλήθευση του μοντέλου

Για να επαληθεύσουμε το μοντέλο μας ακολουθούμε τις μεθόδους προηγούμενων μελετών οι οποίες προβαίνουν σε εκτίμηση της παραγόμενης κλίμακας από έναν Αυλό [194] και παρουσιάζουμε ότι όντως οι προτεινόμενη κλίμακα είναι δυνατόν να αναπαραχθεί από έναν έμπειρο παίκτη. Τόσο για τις μετρήσεις όσο και για τον

υπολογισμό (σύμφωνα με [188]) του αρχικού σετ συχνοτήτων το οποίο θα εισαχθεί στον Entrotuner, χρησιμοποιήσαμε το αντίγραφο του Αυλού της Ποσειδωνίας (το ίδιο όργανο που αναφέραμε προηγουμένως) με ενεργό μήκος γλωσσίδα τα 4.85cm για τον χαμηλό και 5cm για τον ψηλό σωλήνα. Η απόδοση του Entrotuner είναι και εδώ ικανοποιητική (αυξημένη αρμονικότητα – μείωση της εντροπίας κατά 0.197bits, 5 επιπλέον σύμφωνα διαστήματα και 46.2% καλύτερη τονική ποιότητα).

Ένας έμπειρος παίκτης (ο Δρ. Χρ. Τερζής) αναπαρήγαγε αβίαστα (όπως πιστοποιήθηκε από την ανάλυση των ηχογραφημάτων τα οποία έγιναν στο στούντιο του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του ΕΚΠΑ, στις 18 Φεβρουαρίου 2020 και αναλύθηκαν μέσω spectrum analyzer του MATLAB). το σετ συχνοτήτων το οποίο πρότεινε ο Entrotuner, ακούγοντάς το (ακουστικά Beyerdynamic DT990 PRO 250ohm, MATLAB sinewave generator, η υπόλοιπη ηλεκτροακουστική αλυσίδα παρέμεινε η ίδια, όπως περιγράφηκε στην υποενότητα 3.4.2). Ο Πίνακας 3-5 παρουσιάζει τις συχνότητες που πρότεινε ο Entrotuner και αυτές τις οποίες αναπαρήγαγε ο παίκτης, οι οποίες αποκλίνουν μόλις κατά 3.4 cents κατά μέσο όρο μεταξύ τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο συχνοτικές εύρος αποκλίσεις μικρότερες των 10 cents δεν είναι αντιληπτές. [234]

FH	Pipe L			Pipe H		
	Frequency (Hz)		Dev. (c)	Frequency (Hz)		Dev. (c)
	ET	Measured		ET	Measured	
0 (exit)	204.7	204.9	2	225.6	226.0	3
1	216.7	217.0	2	240.7	240.2	-4
2	240.7	241.0	2	263.8	263.1	-5
3	263.8	263.8	0	289.2	289.1	-1
4	289.2	290.1	5	321.1	320.9	-1
5	321.1	320.2	-5	360.6	359.0	-8
6	360.6	358.9	-8	405.3	405.0	-1

Πίνακας 3-5 Επαλήθευση του Entrotuner: Το προτεινόμενο από τον Entrotuner σετ θεμελιωδών συχνοτήτων για τον Αυλό της Ποσειδωνίας vs το αντίστοιχο σετ που προέκυψε από μετρήσεις ηχογράφησης ενός έμπειρου παίκτη (FH: Fingerhole - Δαχτυλισμός, ET: Entrotuner, Dev: Deviation – Απόκλιση σε Cents)

Στην ενότητα αυτή παρουσιάσαμε τις οργανωτικές αρχές της πληροφορίας που συντελούνται μέσω των τριών βασικών πυλώνων της μουσικής επιτέλεσης: 1) του μουσικού (τονικού) συστήματος, 2) των μουσικών οργάνων και 3) του εκτελεστή. Αναδείξαμε το ρόλο του καθενός στη διατήρηση της εντροπίας σε διαχειρίσιμα επίπεδα, το οποίο είναι προϋπόθεση για να την ανάδυση μουσικού νοήματος, όπως παρουσιάσαμε στην ενότητα 2. Επιπλέον, παρουσιάσαμε το πώς η εντροπία ως φυσικό μέγεθος μπορεί να αξιοποιηθεί για την προσομοίωση ενός ιδανικού χρήστη, ο οποίος επιδιώκει την αναπαραγωγή ενός οργανωμένου φάσματος (μεγιστοποίηση της επικάλυψης των αρμονικών μεταφράζεται μαθηματικά ως ελαχιστοποίηση της εντροπίας). Μέσω της προσέγγισης αυτής αναπτύξαμε τον Entrotuner [22]: μία μέθοδο η οποία λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση του μουσικού με το όργανο με στόχο τον προσδιορισμό του βέλτιστου σετ παραγόμενων θεμελιωδών συχνοτήτων. Αναδείξαμε το ρόλο του εκτελεστή στην τελική διαμόρφωση του τονικού ύψους ως προϋπόθεση για την εκτίμηση του κουρδίσματος αρχαίων μουσικών οργάνων. Για την αρχαιομουσικολογία είναι αρκετά απαιτητικό, δαπανηρό και αμφίβολο να βρει: α) επιδέξιους παίκτες και β) αντίγραφα των αρχαίων μουσικών οργάνων [189], [194], ώστε να μπορεί να προβεί σε μουσικολογικές μελέτες. Η προτεινόμενη προσομοίωση ενός ιδανικού παίκτη συμβάλει στο να αρθούν αυτοί οι περιορισμοί οι οποίοι ενυπάρχουν σε προηγούμενες προσεγγίσεις. Επίσης, παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο το οποίο δίνει σαφείς και συγκροτημένες ενδείξεις των παραγόμενων τόνων. Ως μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήσαμε τον Αυλό του Λούβρου και τον συγκρίναμε με υπάρχουσες μελέτες [212]. Πετύχαμε σημαντική αύξηση τόσο στην τονική ποιότητα του οργάνου (κατά 47.8%) όσο και στα σύμφωνα διαστήματα (11 επιπλέον). Οι υπολογισθέντες τόνοι και τα αντίστοιχα διαστήματα έχουν ως αποτέλεσμα τον επαναπροσδιορισμό της μουσικής κλίμακας στην οποία ήταν κουρδισμένο το όργανο. Ευελπιστούμε ότι η εργασία αυτή θα επεκτείνει την αξιοποίηση του μεγέθους της εντροπίας ως μαθηματική έκφραση της αρμονικότητας και θα χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές της υπολογιστικής μουσικολογίας, όχι μόνο σε εργασίας μελέτης μουσικών οργάνων και κλιμάκων, αλλά επίσης στην ανάκτηση μουσικής πληροφορίας (Music Information Retrieval) και σε μουσικές εφαρμογές της μηχανής μάθησης.

Κύρια ευρήματα και μελλοντικές κατευθύνσεις

Η πληροφορία είναι μία έννοια ευρέως χρησιμοποιούμενη στην καθομιλουμένη. Αυτό δίνει μια ξεχωριστή δυναμική στη μελέτη της, αφού ο καθένας είναι εξοικειωμένος με αυτήν. Παράλληλα όμως, οριοθετεί τη συστηματική της προσέγγιση μέσω μίας επιστημονικής μεθοδολογίας, γιατί ο ερευνητής καλείται να υπερβεί τη σημασία της λέξης στην καθομιλουμένη, κάτι το οποίο είναι φύσει δύσκολο. Είναι γεγονός, ότι η φράση «η πληροφορία είναι φυσικό μέγεθος» στον καθένα, ο οποίος δεν είναι μνημένος Φιλοσοφία και Επιστήμη της Πληροφορίας, ενδέχεται να ηχεί ως αυθαίρετη, αβάσιμη ή μεταφυσική. Θέλουμε να πιστεύουμε ότι, ακόμα και τον πιο καχύποπτο αναγνώστη της συγκεκριμένης διατριβής, θα έχει αρθεί η όποια τέτοια αντίληψη.

Ενώ η επιστήμη αναμετράται με την έννοια της πληροφορίας εδώ και περίπου έναν αιώνα, μόλις πριν λίγες δεκαετίες έχει δειλά συγκροτηθεί το αυτοτελές ακαδημαϊκό πεδίο της «Επιστήμης και Φιλοσοφίας της Πληροφορίας». Η ουσιαστική συνεισφορά της διατριβής αυτής έγκειται ως επί το πλείστον στην περαιτέρω συγκρότηση της Επιστήμης και Φιλοσοφίας της Πληροφορίας ως αυτοτελές ακαδημαϊκό πεδίο και στην περαιτέρω εξέλιξή του.

Πιο συγκεκριμένα, για να επιτευχθεί ο στόχος της διατριβής, ο οποίος είναι η συγκρότηση μιας πρωτότυπης οντολογίας βασισμένη στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος με εφαρμογές στη μουσικολογία και μουσική πληροφορική, απαντήσαμε στα ερευνητικά ερωτήματα όπως αυτά διατυπώθηκαν στην Εισαγωγή ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

- 1) Ποια κοινά πορίσματα μπορούν εξαχθούν από τη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών διαδρομών προσέγγισης της έννοιας της πληροφορίας από τις φυσικές επιστήμες (π.χ., Θερμοδυναμική, Τηλεπικοινωνίες, Κβαντομηχανική, Βιολογία, Θεωρητική φυσική, Κυβερνητική, Πληροφορική);
- 2) Ποια η σχέση της πληροφορίας με τη φυσική πραγματικότητα;
- 3) Δύναται, μέσω των απαντήσεων στα ερωτήματα 1 και 2, να συγκροτηθεί μια οντολογία βασισμένη στην πληροφορία ως φυσικό μέγεθος, η οποία να εξετάζει το υλικό, ενεργειακό και πληροφοριακό περιεχόμενο των οντοτήτων;
- 4) Με ποιο τρόπο η μουσική μπορεί να αποτελέσει μελέτη περίπτωσης (case study) μίας πληροφοριακής οντολογίας;
- 5) Η μεθοδολογική αντίστροφη (από το bit from it – η πληροφορία ως το αποτέλεσμα της παρατήρησης μιας οντότητας – , στο it from bit – η οντότητα ως παράγωγο της πληροφορίας) την οποία προτείνει η σύγχρονη επιστήμη πώς παρατηρείται στα παράγωγα του μουσικού πολιτισμού;
- 6) Ποια η σχέση ύλης και πληροφορίας στα μουσικά όργανα; Μπορεί η εντροπία να αποτελέσει ένα μαθηματικό εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών της υπολογιστικής μουσικολογίας;

Η επιστήμη και φιλοσοφία της πληροφορίας είναι ένα νεοσύστατο πεδίο το οποίο βρίσκεται στη διαδικασία συγκρότησης ενός κοινός αποδεκτού και οριοθετημένου πλαισίου. Επειδή η έννοια της πληροφορίας προσεγγίζεται από διαφορετικές διαδρομές των φυσικών επιστημών (π.χ., Θερμοδυναμική, Τηλεπικοινωνίες, Κβαντομηχανική, Βιολογία, Θεωρητική φυσική, Κυβερνητική, Πληροφορική) για να συγκροτηθεί το

προαναφερθέν κοινώς αποδεκτό πλαίσιο πρέπει σε πρώτη φάση να εξαχθούν τα κοινά πορίσματα των διαφορετικών αυτών προσεγγίσεων, τα οποία θα αποτελέσουν τη ραχοκοκαλιά της συγκρότησης του πεδίου (ερευνητικό ερώτημα 1). Στη διατριβή αυτή προχωρήσαμε στην περιγραφή των διαφορετικών προσεγγίσεων των φυσικών επιστημών αναφορικά με την έννοια της πληροφορίας και τη σχέση της με το μέγεθος της εντροπίας. Δεν πρόκειται απλώς για μία βιβλιογραφική περιγραφή, αλλά για μία πρωτότυπη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών αυτών προσεγγίσεων, ώστε να εξεταστεί ποια κοινά συμπεράσματα εν είδη πορισμάτων απορρέουν. Μέσω αυτής της πρωτότυπης συγκριτικής μελέτης προέκυψαν τέσσερα πορίσματα τα οποία απαντούν στο ερευνητικό ερώτημα 1: 1) η πληροφορία είναι ανεξάρτητο φυσικό μέγεθος, 2) η πληροφορία είναι ανεξάρτητη από το υπόστρωμα στο οποίο εγγράφεται, 3) η ροή πληροφορίας οργανώνει δομές, και 4) παρατηρείται η αντιστροφή στη σχέση της πληροφορίας με τη φυσική πραγματικότητα (η πληροφορία θεωρούνταν ως το αποτέλεσμα μιας παρατήρησης, ενώ, πλέον, η οντότητα προκύπτει ως παράγωγο της πληροφορίας). Παράλληλα, εξετάσαμε τη σχέση της πληροφορίας με τα δομικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και τον τρόπο με τον οποίο η ροή πληροφορίας επιβάλλει οργανώσεις. Αυτό το στοιχείο είναι πολύ σημαντικό γιατί εισάγει μία νέα εννοιολογική τοποθέτηση αναφορικά με την έννοια της πληροφορίας: η πληροφορία δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα της παρατήρησης και η περιγραφή των ιδιοτήτων ενός συστήματος, αλλά και η οργανωτική αρχή των συστημάτων. Η μετατόπιση αυτή συνδέεται με τη σχέση της πληροφορίας με τη φύση της πραγματικότητας (ερευνητικό ερώτημα 2). Στη μελέτη μας αναδείξαμε τους λόγους για τους οποίους η πληροφορία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα θεμελιακό μέγεθος μέσω του οποίου ξεδιπλώνεται η πραγματικότητα. Με βάση τα παραπάνω, στην εργασία αυτή διατυπώνεται μία πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία (ερευνητικό ερώτημα 3). Η οντολογία αυτή στηρίζεται στο ότι οι οντότητες προκύπτουν ως παράγωγα της πληροφορίας. Για το λόγο αυτό, εισάγεται ο όρος «οντοφορία» (itformation), η οποία είναι η οργανωτική αρχή των οντοτήτων, σε αντιδιαστολή με την πληροφορία (information), η οποία συνδέεται με το αποτέλεσμα της παρατήρησης των οντοτήτων. Οι οντότητες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, βάσει του πληροφοριακού, ενεργειακού και υλικού τους περιεχομένου. Και αλληλοεπιδρούν μέσω των ορίων τους. Ως εκ τούτου, η ύπαρξη ορίων αναδεικνύεται ως οντολογική προϋπόθεση. Τέλος, προτείνουμε τους υπερνόμους της αυτοσυντήρησης (τάση διατήρησης των ορίων) και της επικοινωνίας (τάση αλλαγής των ορίων) ως νόμους καθολικής ισχύος σε όλες τις αξιωματικά δυνατές οντότητες.

Η πρωτότυπη πληροφοριακή οντολογία που αναπτύξαμε αξιώνει τη δυνατότητα εφαρμογής της σε οντότητες πέραν του αμιγώς φυσικού (υλικού – ενεργειακού) κόσμου, όπως οι μουσικές (ερευνητικό ερώτημα 4). Η οντοφορία είναι αυτή η οποία επιβάλλει τους κανόνες δόμησης των συστημάτων. Η μουσική οντότητα αποκτά τα χαρακτηριστικά της κυρίως από τις (γεωμετρικές) σχέσεις των ηχημάτων μέσω των οποίων δομείται. Το γεγονός ότι η μουσική δομείται μέσω προτύπων (patterns) την καθιστά ικανή μελέτη περίπτωσης της οντολογίας μας. Η μουσική, σύμφωνα με τον Varese είναι οργανωμένος ήχος. Η μουσική οντοφορία είναι εκείνη η οποία είναι η οργανωτική αρχή των εν δυνάμει μουσικών οντοτήτων. Είναι εκείνη η οποία θα ορίσει το ποιες γεωμετρικές σχέσεις των ήχων (audio) ή των συμβόλων (σημειογραφία, midi κ.λπ.) είναι επιτρεπτές. Η οργανωτική αρχή αποτυπώνεται στον ορισμό του Bateson: πληροφορία είναι η διαφορά (A) η οποία παράγει μία διαφορά (B). Η μουσική οντοφορία σχετίζεται με τον

ορισμό αυτό μέσω των κανόνων (όπως το τονικό σύστημα, η κλίμακα/τρόπος, ο ρυθμός/αγωγή, η φόρμα, το δομικό υλικό κ.λπ.), οι οποίοι είναι οι γεννήτορες των ηχητικών διαφορών (Α) οι οποίες όταν προσληφθούν γίνονται αντιληπτές ως μουσική (Β). Η μουσική οντοφορία ορίζει το ποιες από τις άπειρες εν δυνάμει οργανώσεις του ήχου (σύστημα μεγιστοποιημένης εντροπίας) είναι επιτρεπτές. Η μουσική οντοφορία λοιπόν επιβάλλει τις κανονιστικές αρχές της μουσικής δόμησης. Αυτό είναι φανερό στην παραδειγματική σημειωτική ανάλυση, κατά την οποία το μουσικό συνεχές κατατμείται σε επιμέρους τμήματα τα οποία ομαδοποιούνται ανάλογα με τις κοινές τους ιδιότητες. Συγκροτείται λοιπόν ένα σύνολο από αρχετυπικά patterns τα οποία εμφανίζονται στο μουσικό έργο σε διαφορετικές εκδοχές – υλοποιήσεις. Ο Meyer υποστήριζε ότι η αισθητική απόλαυση συνδέεται με την επιβεβαίωση ή όχι της πρόβλεψης, το οποίο επιβεβαιώνεται στις μέρες βιολογικά – νευροφυσιολογικά. Για να είναι σε θέση ο ακροατής να προβλέπει την εξέλιξη του μουσικού έργου εκπαιδεύεται μέσω της ακρόασης σε αναγνώριση προτύπων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αποθήκευσης της μουσικής πληροφορίας στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Τα μουσικά patterns τα οποία προσλαμβάνει έχουν δομική σχέση με δομικά patterns στον εγκέφαλο (κυρίως του νευρωνικού δικτύου), το οποίο συνδέεται με τη δυνατότητα της πληροφορίας να επιβάλλει οργανώσεις μέσω της ροής από ένα σύστημα (αυτό τον ήχον) σε ένα άλλο (αυτό του νευρωνικού δικτύου του εγκεφάλου). Το ότι η μουσική είναι οργανωμένος ήχος δε συνεπάγεται ότι και κάθε οργανωμένος ήχος είναι μουσική, παρά μόνο εκείνος ο οποίος μπορεί να συσχετισθεί από τον ακροατή με την αποθηκευμένη στον εγκέφαλό του μουσική πληροφορία. Τα αφαιρετικά μοντέλα ανάλυσης (π.χ. Σενκεριανή) δομούνται μέσω της σταδιακής αφαίρεσης των νοτών με δευτερεύοντα δομικό ρόλο ώστε να μπορεί να εντοπιστεί η βαθύτερη δομή. Η βαθύτερη δομή δεν παρουσιάζει κανένα μουσικό ενδιαφέρον γιατί είναι απόλυτα προβλέψιμη. Η άγνοια είναι μηδενική, η εντροπία είναι ελάχιστη. Αντίθετα, το λιγότερο προβλέψιμο σύστημα είναι αυτό της τυχαίας άρθρωσης ηχημάτων, το οποίο στη θεωρία των σημάτων συνεπάγεται θόρυβο. Τότε η άγνοια, και ως εκ τούτου και η εντροπία, γίνονται μέγιστα. Η μουσική λοιπόν, μέσω των κανόνων δόμησης (οντοφορία) επιβάλλει οργανώσεις του ήχου τέτοιες ώστε 1) εντροπία θα διατηρείται σε ελεγχόμενα επίπεδα (αρκετά υψηλή ώστε να δημιουργείται έκπληξη και αρκετά χαμηλή ώστε να παραμένει εφικτή η δυνατότητα πρόβλεψης) και 2) θα μπορούν να συσχετιστούν με την αποθηκευμένη στον ακροατή μουσική πληροφορία. Η μουσική πληροφορία λοιπόν είναι το αποτέλεσμα της μελέτης μιας μουσικής οντότητας, ενώ η μουσική οντοφορία είναι η οργανωτική αρχή της δόμησης των εν δυνάμει μουσικών οντοτήτων (ερευνητικό ερώτημα 5).

Ενώ για την επιστήμη η πληροφορία θεωρούνταν ως το αποτέλεσμα της παρατήρησης του φυσικού κόσμου (της ύλης και της ενέργειας) αναδείξαμε ότι οι σύγχρονες προσεγγίσεις προκρίνουν την αντιστροφή αυτής της σχέσης (η πληροφορία – οντοφορία ορίζει τη δόμηση του φυσικού κόσμου). Την αντιστροφή αυτή την εντοπίσαμε και στην περίπτωση των μουσικών οργάνων, τα οποία είναι κατασκευασμένα με τρόπο ώστε να αναπαράγουν τις νότες τις οποίες ορίζει το εκάστοτε μουσικό σύστημα στο οποίο εντάσσονται. Τα μουσικά όργανα είναι η αναπαράσταση του τονικού συστήματος στην ύλη. Το μεν μουσικό σύστημα θεμελιώνεται πάνω σε διαστηματικές σχέσεις στο πεδίο των συχνοτήτων, τα δε μουσικά όργανα σε διαστηματικές σχέσεις στο πεδίο της ύλης. Επί της ουσίας συντελείται ένας δομικός μετασχηματισμός από το ένα πεδίο στο άλλο. Τα μουσικά όργανα λοιπόν είναι μηχανισμοί διατήρησης της εντροπίας σε ελεγχόμενα

επίπεδα. Ως μηχανισμοί όμως αφήνουν βαθμούς ελευθερίας κατά την αλληλεπίδραση με τον εκάστοτε χρήστη, ο οποίος με διάφορες επιτελεστικές τεχνικές μπορεί να αναπροσαρμόζει εκ νέου το τονικό ύψος το οποίο παράγει το όργανο. Οι οργανωτικές αρχές της πληροφορίας συντελούνται, λοιπόν, μέσω των τριών βασικών πυλώνων της μουσικής επιτέλεσης: 1) του μουσικού (τονικού) συστήματος, 2) των μουσικών οργάνων και 3) του εκτελεστή. Ο κάθε ένας από αυτούς τους πυλώνες συνδράμει στη διατήρηση της εντροπίας σε διαχειρίσιμα επίπεδα, η οποία είναι προϋπόθεση για να την ανάδυση μουσικού νοήματος. Οι αρχαιομουσικολόγοι όταν επιχειρούν να προσδιορίσουν το κούρδισμα ενός μουσικού οργάνου στηρίζονται σε μεθόδους βασισμένες τόσο στις φυσικές ιδιότητες του οργάνου όσο και των βασικών τονικών συστημάτων της εποχής στην οποία αναφέρεται το συγκεκριμένο όργανο. Παρόλ' αυτά, οι επικρατούσες μέθοδοι δε συνυπολογίζουν τη δυνατότητα του μουσικού να αναδιαμορφώνει το τονικό ύψος καθώς παίζει (στα πνευστά με τον τρόπο που αλληλοεπιδρά με τη γλωσσίδα, στα έγχορδα αλλάζοντας τις ιδιότητες της χορδής, όπως τάση και μήκος). Βασική συνεισφορά της διατριβής αυτή είναι η ανάπτυξη του μοντέλου Entrotuner (όπως δημοσιεύτηκε στο περιοδικό IEEE Access [22]), ο οποίος είναι μία υπολογιστική μέθοδος, βασισμένη σε μοντέλα μαθηματικής βελτιστοποίησης (mathematical optimization) και έχει ως στόχο τον ακριβέστερο προσδιορισμό του παραγόμενου τονικού ύψους ενός οργάνου (ερευνητικό ερώτημα 6). Αυτό επιτυγχάνεται με τον συνυπολογισμό του οργάνου ως ένας μηχανισμός παραγωγής ήχου, των μουσικών κλιμάκων οι οποίες υιοθετούνταν στην εποχή αναφοράς του οργάνου, καθώς και της αλληλεπίδρασης του μουσικού με το όργανο. Προσομοιώνουμε αυτή την αλληλεπίδραση ως ένα σύστημα στο οποίο μεγιστοποιούνται οι επικαλύψεις των υπερτόνων (partials' overlap) και κωδικοποιείται μέσω της ελαχιστοποίησης της εντροπίας του συνολικού φάσματος του οργάνου. Δείξαμε το πώς η εντροπία ως φυσικό μέγεθος μπορεί να αξιοποιηθεί για την προσομοίωση ενός ιδανικού χρήστη, ο οποίος επιδιώκει την αναπαραγωγή ενός οργανωμένου φάσματος (μεγιστοποίηση της επικάλυψης των αρμονικών μεταφράζεται μαθηματικά ως ελαχιστοποίηση της εντροπίας). Για την αρχαιομουσικολογία είναι αρκετά απαιτητικό, δαπανηρό και αμφίβολο να βρει: α) επιδέξιους παίκτες και β) αντίγραφα των αρχαίων μουσικών οργάνων [189], [194], ώστε να μπορεί να προβεί σε μουσικολογικές μελέτες. Η προτεινόμενη προσομοίωση ενός ιδανικού παίκτη συμβάλλει στο να αρθούν αυτοί οι περιορισμοί οι οποίοι ενυπάρχουν σε προηγούμενες προσεγγίσεις. Επίσης, παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο το οποίο δίνει σαφείς και συγκροτημένες ενδείξεις των παραγόμενων τόνων. Ως μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήσαμε τον Αυλό του Λούβρου και τον συγκρίναμε με υπάρχουσες μελέτες [212]. Πετύχαμε σημαντική αύξηση τόσο στην τονική ποιότητα του οργάνου (κατά 47.8%) όσο και στα σύμφωνα διαστήματα (11 επιπλέον). Οι υπολογισθέντες τόνοι και τα αντίστοιχα διαστήματα έχουν ως αποτέλεσμα τον επαναπροσδιορισμό της μουσικής κλίμακας στην οποία ήταν κουρδισμένο το όργανο.

Με βάση τα παραπάνω, η συνεισφορά της διατριβής αυτής εντοπίζεται σε τέσσερα κύρια σημεία:

1. Παρουσίαση της διαδρομής της επιστημονικής σκέψης η οποία επέφερε την ανάδειξη της πληροφορίας ως φυσικό μέγεθος, η μελέτη του οποίου αξιώνει να συστήσει ένα συμπαγές, αυτόνομο ακαδημαϊκό πεδίο. Παρουσιάστηκε μία πρωτότυπη συγκριτική μελέτη των διαφορετικών προσεγγίσεων της έννοιας

της πληροφορίας από τις φυσικές επιστήμες, μέσω της οποίας προέκυψε η ανάδειξη πορισμάτων τα οποία συμβάλλουν σε μία συνεκτική περιγραφή των διαφορετικών αυτών διαδρομών σε ένα ενιαίο, κοινώς αποδεκτό πλαίσιο.

2. Επέκταση των ευρημάτων του εν λόγω ακαδημαϊκού πεδίου, με την πρόταση μίας νέας πρωτότυπης οντολογίας βασισμένη στη φυσική έννοια της πληροφορίας, η οποία δομείται πάνω στη μετατόπιση της θέσης της πληροφορίας αναφορικά με τη φύση της πραγματικότητας (από το bit from it στο it from bit). Εισάγεται ο όρος οντοφορία (itformation) σε αντιδιαστολή με τον όρο πληροφορία (information), ώστε να διασαφηνιστεί η μετατόπιση αυτή.
3. Παρουσίαση και περιγραφή του πώς τα παραπάνω ερμηνεύουν ένα συγκεκριμένο φαινόμενο, εν προκειμένω μελέτη περίπτωσης (case study) επιλέχθηκε η μουσική. Προσδιορίστηκαν τα στοιχεία τα οποία προσδιορίζουν μουσικές ιδιότητες στις ηχητικές οντότητες. Περιεγράφηκαν οι δομικές συσχετίσεις στο ουδέτερο επίπεδο του έργου, στο επίπεδο του δημιουργού και σε αυτό του ακροατή.
4. Παρουσίαση του πώς η προσέγγισή μας, αν και θεωρητική στη φύση της, μπορεί να διαμορφώσει το πλαίσιο για την ανάπτυξη συγκεκριμένων επιστημονικών και τεχνολογικών πρακτικών εφαρμογών. Εν προκειμένω, παρουσιάσαμε μία εφαρμογή στο αντικείμενο της υπολογιστικής Αρχαιομουσικολογίας, η οποία για πρώτη φορά συμπεριλαμβάνει την αλληλεπίδραση του χρήστη του μουσικού οργάνου στην εκτίμηση της παραγόμενης κλίμακας την οποία είναι προγραμματισμένο το όργανο να αναπαράξει.

Η διδακτορική αυτή διατριβή μπορεί να αποτελέσει την αφετηρία πολλαπλών μελλοντικών κατευθύνσεων. Η αυτονόμηση της πληροφορίας ως φυσικό μέγεθος και η μελέτη της πληροφοριακής ροής ανεξάρτητα από το υπόστρωμα στο οποίο εγγράφεται και εκδηλώνεται, μπορούν να πυροδοτήσουν πληθώρα εφαρμογών και ανοίγουν νέα μονοπάτια τα οποία καλείται να διαβεί η επιστημονική κοινότητα. Η αφαιρετική μελέτη φαινομένων μέσω της οποίας αναδεικνύονται οι πληροφοριακές δομές οι οποίες ενυπάρχουν στο φαινόμενο μπορεί να δώσει υπολογιστικά μοντέλα τα οποία να ερμηνεύουν και να προβλέπουν συμπεριφορές. Έτσι λοιπόν μπορούν να εντοπιστούν δομικές συγγένειες σε συστήματα τα οποία μέχρι τώρα ήταν τελείως ασυσχέτιστα. Η αναγνώριση προτύπων στα υπολογιστικά μοντέλα της ροής της πληροφορίας θα ερμηνεύσει μηχανισμούς άγνωστους μέχρι τώρα. Η μοντελοποιημένη πληροφοριακή ροή, εκφρασμένη σε διαφορετικό υλικό ή/και ενεργειακό υπόστρωμα θα παράξει νέες προσεγγίσεις. Για παράδειγμα, η μοντελοποίηση της κίνησης του σμήνους των πουλιών όταν προσεγγίζουν ένα εμπόδιο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί στην από κοινού και με ασφάλεια αποφυγή εμποδίων των αυτόνομων οχημάτων που, απ' ό,τι φαίνεται, σύντομα θα κυριαρχήσουν στην αγορά. Επίσης, η μοντελοποίηση της πληροφοριακής ροής στους έμβιους οργανισμούς θα μπορούσε να δώσει ενδείξεις για είδη ζωής σε άλλους πλανήτες οι οποίοι στηρίζονται σε μη οργανικές ενώσεις. Επίσης, η ολιστική προσέγγισή μας, η οποία βρίσκει τις συσχετίσεις ύλης/ενέργειας/πληροφορίας δύναται να συνδράμει στην ανάπτυξη εφαρμογών στα πλαίσια της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης και του διαδικτύου

των πραγμάτων (Internet of things), μέσω των δομικών μετασχηματισμών που επιφέρει η ροή της πληροφορίας διαμέσου των διασυνδεδεμένων συσκευών.

Ένα επιπλέον ανοιχτό πεδίο είναι η αντικειμενικοποίηση της σημασιολογικής πληροφορίας. Ο Shannon πρότεινε τη μαθηματική ποσοτικοποίηση της πληροφορίας η οποία ενυπάρχει σε ένα μήνυμα. Η προσέγγισή του, παρά τη σπουδαιότητά της, αφορά μόνο την πιθανότητα έκβασης ενός γεγονότος. Οι σημασιολογικές προεκτάσεις της έκβασης του γεγονότος αυτού δεν υπεισέρχονται στην προσέγγισή του. Η μαθηματική, αντικειμενική περιγραφή των σημασιολογικών προεκτάσεων της πληροφορίας (δηλαδή, της επίδρασης που θα έχει η παραλαβή του μηνύματος στον παραλήπτη) είναι μία πρόκληση. Μέσω αυτής, μπορούν να αναπτυχθούν περισσότερο αποδοτικές εφαρμογές στο πεδίο της ανάκτησης μουσικής πληροφορίας (Music Information Retrieval), ειδικά όσον αφορά την προσωποποιημένη πρόταση νέων ακουσμάτων. Επίσης, θα συνδράμει στην ανάπτυξη αλγορίθμων ηχοποίησης (sonification), ώστε να μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η επίτευξη του στόχου της διαδικασίας ηχοποίησης, μετρώντας την επίδραση που θα έχει η λήψη της ηχητικής αναπαράστασης ενός φαινομένου στον ακροατή.

Οι μετασχηματισμοί οι οποίοι υφίστανται μέσω και λόγω της πληροφοριακής ροής μπορούν να συνδράμουν στην ανάπτυξη υβριδικών μορφών τέχνης. Το πληροφοριακό περιεχόμενο της κίνησης ενός χορευτή, των οπτικών δομών σε έναν πίνακα ζωγραφικής ή των δράσεων που συμβαίνουν σε ένα video game μπορεί να αναπαρασταθεί ηχητικά και να διαμορφώσει αλγορίθμους αυτοματοποιημένης μουσικής σύνθεσης. Η σύμμειξη των τεχνών, καλλιτεχνική, αισθητική και πολιτισμική απαίτηση της εποχής, είναι πλέον τεχνολογικά εφικτή.

Τέλος, η επέκταση της μεθοδολογίας του Entrotuner μπορεί να συμβάλλει στην περαιτέρω ανάπτυξη εφαρμογών της υπολογιστικής μουσικολογίας. Ειδικότερα, μπορεί να γίνει επανεκτίμηση των μουσικών κλιμάκων στα οποία ήταν κουρδισμένα τα αρχαία ελληνικά μουσικά όργανα με εφαρμογή του Entrotuner στη μελέτη τους. Επίσης, μπορούν να αναπτυχθούν αλγόριθμοι εκτίμησης των τμημάτων που έχει καταστραφεί σε αρχαία όργανα αλλά και του σχεδιασμού οργάνων με βάση προκαθορισμένα χαρακτηριστικά.

Extended Abstract

Our modern world is highly influenced by the information revolution that is taking place in both computer science and communications science as well as in most branches of science (eg, physics, cosmology and biology). Each scientific revolution brings a new reflection on the deeper philosophical and conceptual issues, mainly regarding the perception of reality and the relationship of humanity with the natural world. For example, Copernicus' heliocentric model overturned the notion that the Earth is the center of the universe and Darwin's evolutionary theory that the animal kingdom centered on man. These two revolutions redefined humanity's perception of the natural environment and its correlation with it. This dissertation examines the conceptual and philosophical implications of the ongoing information revolution and attempts to present an epistemology of musical information with application to computational archaeomusicology.

The history of information, as a concept within the natural sciences, begins with thermodynamics, which introduces a new mental fact: knowledge of the macrostate of a system does not imply knowledge of its microstate. So, the element of ignorance (entropy) is introduced, a concept directly related to that of information. A few decades later, quantum mechanics argued that no observer, not even a theoretical-ideal one, could accurately know both the position and momentum of a particle, except for the possibility of finding the particle at a given position with a given momentum (Heisenberg's principle of indeterminacy) Ignorance, and hence information, began to acquire physical significance.

The second half of the 20th c. is characterized by the development of computers and telecommunications. In 1948 Shannon quantified objectively and mathematically the information that a message carries. [1] He also called his function entropy, inspired by the mathematical and mental connections he found with Boltzmann's thermodynamic entropy. The IT revolution had begun. At the same time, the multitude of scientific disciplines are reshaping their methodological framework to include the information phenomena that occur, with a more representative example being biology and the role of DNA as an "information manual" [2]. The cognitive sciences examine how information is stored, processed, and managed in the human brain [3]. Cosmology confronts the paradox of information loss in black holes [4] while modern engineering attempts to design machines that produce useful work by fueling information [5]. Now, therefore, science must not only interpret and utilize matter (18th century) and energy (19th). A new entity has emerged, that of "information". Wiener even states that information is neither matter nor energy [6],while Landauer that information is a physical entity itself, alongside matter and energy [7].

A number of scientists, especially from the field of quantum computing (eg, [8], [9]) report that there is a reversal in the process of interpreting the world. Whereas, until recently, science studied matter and energy to obtain information about systems, today it is considered that information is a causal factor for the creation of the structures of matter and energy. This notion is summed up in Wheeler's famous phrase "It from Bit". [10] An approach that says that every entity is a derivative of information. Information is not just the result of our acquaintance with the universe but has been recognized as what defines

physical reality. [11] Davies even recognizes it as the ontological basement of reality. [12]

The shift that modern science has brought about in relation to information and physical reality can be related to the conceptual and philosophical shifts that the revolution in computer science has brought, especially through the 4th industrial revolution, and transform how information and the substance of reality are related: 1) reality is not only material but also informational and 2) along with the physical there is also the information environment. [13] The first is due to the change in the technological-productive paradigm that emerged through the rapid utilization of computers. Now, the concept of the object - product is not exclusively of a material nature, but also of informational (brand, avatar, domain name, applications, software, databases, etc.). Economies in advanced countries do not rely solely on industry and material goods. Instead, they have shifted to services (e.g., education, communications, administration, health) and intangibles which are inherently informational. A representative example is money. Until a few decades ago money had a mandatory material character (e.g., coins, banknotes), later plastic (credit - debit cards) has been introduced, while nowadays the condition of its materiality has been lifted and transactions are made through digital money (electronic transactions, paypal, cryptocurrency, etc.). As for the second, people two - three generations ago were active and belonged exclusively to a material - natural environment. Nowadays there is also an information environment (e.g. websites, mailing lists, social networks, databases, virtual reality platforms, cultural platforms such as Spotify and Netflix, video games, forums). In fact, while until recently human interfaces with the information environment were exclusively computers, today, a number of "smart" devices (e.g. televisions, telephones, refrigerators, air conditioners, alarms, etc.) are interconnected via the internet each other (Internet of Things / Clouds) which are, in turn, interfaces to the information environment.

Thus, a new ontological approach based in the outcomes of modern science regarding the concept of information is now open. The fact that there are so many approaches related to the concept of information simply demonstrates the power of the field. This pluralism is unified under the umbrella of the "philosophy of information". [14] This approach claims to be the foundation of the interpretation of a series of phenomena and not merely a metaphorical superstructure. Accordingly, a unifying theory of information is attempted [15], whose structural, hierarchical and dialectical framework will be able to provide the scientific means through which a series of social, technological and natural phenomena will be interpreted. [16] One of these phenomena is music.

In the field of the connection of information with music, the work of A. Moles was emblematic as reflected in the book "Information Theory and Esthetic Perception". [17] Shannon's Theory of Information approached information as a measure of the complexity of a message (i.e., the entropy of the message) [1]. Moles attempted to systematically apply this approach to the arts, and music in particular. He proposed an informational aesthetic based on measurable information coded in the form of a musical piece. Structurally analyzing aesthetic perception, Moles presented an application of Shannon's Mathematical Theory of Communication to the understanding of aesthetic experience.

L. Meyer correlates the aesthetic perception with the entropic content of the musical work. [18] Through the process of listening, each human brain has been trained to develop mechanisms for predicting the evolution of the musical plot. The emotions that the hearing evokes are related to the confirmation or not of this prediction. "Expectation" as the vehicle for the birth of emotions during music listening is confirmed by modern studies of the brain (e.g., [19], [20]).

A musical structure (both in the field of sounds and symbols - score) contains information which reflects its properties and characteristics. Music Information Retrieval (MIR) is an evolving interdisciplinary field based on digital signal processing, machine learning, psychoacoustics, musicology, etc. Some of the applications of MIR are finding a specific track in a large collection (e.g., Shazam), proposing similar tracks that meet certain specific similarity criteria, automated playlist creation, categorization, etc. [21].

The approaches that connect the concept of information with music described above have opened various paths in the study of the phenomenon with multiple theoretical and practical applications. Nevertheless, the need remains to formulate a structured and systematic epistemology of music information, in particular with regard to the inclusion of new approaches to philosophy and information science, as it has emerged from the rapid development in the field of science and 4th industrial revolution. It is in this context that the present dissertation is compiled, the aim of which is to compile an original ontology based on information as a physical quantity with applications in musicology and music informatics. To achieve this goal the following research questions are explored:

- 1) What common conclusions can be drawn from the comparative study of the different approaches to the concept of information from the natural sciences (eg, Thermodynamics, Telecommunications, Quantum Mechanics, Biology, Theoretical Physics, Government, Informatics)?
- 2) How information is related to the physical nature of reality?
- 3) Is it possible, answering to questions 1 and 2, to be able to form an ontology based on information as a physical quantity, which examines the material, energy and informational content of the entities?
- 4) How can music be the case study of such an informational ontology?
- 5) How the methodological reversion (from bit from it - information as the result of observing an entity -, to it from bit - entity as a derivative of information) proposed by modern science, is observed in the derivatives of musical culture?
- 6) What is the relationship between matter and information in musical instruments? Can entropy be a mathematical tool for developing applications of computational

We will now present the approaches of modern science, mainly regarding the fields of quantum mechanics and thermodynamics, and connect it with concepts such as entropy, energy, and matter. Its physical properties will be examined as well as the way in which it exists in an entity and interacts with both its energy and material content.

Information as a concept of modern physics began to be established with the challenge of determinism. In Newtonian classical physics, if one knows the state of a system, one can accurately predict its next state. Observer's reality is consistent with nature's reality.

In this sense, the deeply deterministic nature of classical physics, in which the degree of ignorance is zero (provided knowledge of the initial conditions of the system), the concept of information is of secondary importance, since the observation agent has absolute knowledge / information. Another element, apart from the existence of an observer capable of achieving absolute knowledge, is that the observation process does not affect the observed system at all.

Thermodynamics used the tools of statistical engineering as well as the ways of describing the microstate of a system of classical physics. Thus, it managed to find a physical and mathematical connection between the microstates of a system and its macrostate. Key concept was that of entropy. Entropy presents the number of possible microstates in which a system can occur given its thermodynamic macrostate. In other words, it describes the information that is hidden in the microstate of a system when an agent knows only its macrostate. This is a great moment in the history of the philosophy of science, as it recognizes the fact that a system can hide information from its observer. Entropy is therefore the lost information that is hidden in the details of the microstate and cannot be derived from the study of the macrostate. This is the relationship between information and entropy.

Maxwell's approach was based on the existence of an observer, his demon, who can observe the microstate of a system without affecting the natural world at all. This is where the paradoxical solution lies, namely, that such an observer cannot exist. In order for an agent to make an observation then he must pay a physical price. This price was set in 1929 by Szilard, who proved that such an observation is accompanied by an increase in entropy, in order to compensate for the decrease in entropy that came from the organization brought about by the activity of this demon. Information processing is at the core of computing in any computational process. When a computer makes calculations then it deletes steps that are not useful once the calculation is completed. This erasure causes the process to stop being reversed. Erasing information, which is a necessity due to the finite capacity of memory, results in heat production. In order for the machine to work, the memory needs available space. As Landauer [24] has shown, deleting information requires energy consumption. Based on this reasoning, then, the process of deleting information in the demon's mind produces the amount of energy required to prevent the second thermodynamic law from being disturbed. [25]

Landauer's contribution to the connection between physics and the concept of information is extremely important. Information has emerged as a measurable quantity directly linked to natural systems. Just as mass has been associated with energy through the Einstein equation ($E = mc^2$), so energy has been associated with information.

Is it possible to produce work with information as fuel? Modern studies have suggested several information machines that attempt to transform experiments with information demons from thought to physical. The first attempts of information machines are a fact. [26]–[32]

Quantum mechanics has shown that an observer, can, in principle, only have an information-limited ability to know the state of a system and that it is unable to predict its evolution in a deterministic way. So, the information began to take on a structural perspective, to play a natural role and not just be the logical output of the observation of a

deterministic phenomenon. Information as a concept, of secondary importance to classical physics, has been upgraded to an essential parameter of natural interpretation of reality.

In 1926, the German physicist Werner Heisenberg, with his famous uncertainty principle, noted that it was not possible to determine exactly both the position and the velocity of the particles at the same time. In order to be able to see the position of a particle, that is, to locate it, you must shed light. In this case, however, even a quantum of light would disrupt the particle and change its velocity in a way that cannot be predicted. Suppose we have an ideal observer of a quantum mechanical system. From the above properties it appears that an information gap is always created in the overall knowledge of the system.

The principle of conservation of information is a cornerstone of modern physics. In classical physics, which is governed by clear and purely deterministic laws, which leave no room for uncertainty, ambiguity, or contingency / probability, it is relatively immediately apparent that information is retained. In quantum mechanics, the principle of information retention, i.e., the possibility of reversibility, is expressed through the unitarity of the operators.

The connection of thermodynamics with black holes was made by Jacob Bekenstein in 1973, who first expressed the view that the area of the horizon of events of a black hole is the measure of its entropy. [39] Hawking, however, considered it impossible for a black hole to have any entropic nature. A black hole, with vast gravitational forces, leaves nothing to be accidental, any object that sucks is just food in its three unique properties, mass, torque, and electric charge. It was at that time that Ruffini and Wheeler formulated the "no-hair" theorem. [42] Black holes have no hair. With this phrase they wanted to make it clear that when a black hole is formed by the collapse of a star, its horizon ends in a shape without any noticeable features (bumps, irregularities, etc.). Therefore, the entropy of the universe will decrease., since the universe can be considered as a universal, huge, closed system.

The apparent violation of the second thermodynamic law made Bekenstein believe that the black hole has indeed entropy. [39] In fact, he believed that when an object enters a black hole, the entropic void left behind by that object is replaced on the surface of the black hole horizon.

But what about the information brought by an object that falls into the black hole, given the law of conservation of information? Already, with the theorem of the "bald" black hole, that is, without observable characteristics (no hair theorem), this law seems to be violated. The information degenerates into the mass, torque and charge of the black hole so it cannot be extracted. Various theories try to provide a solution to this paradox, but the question remains open. [46] [47] [48] [50]

What we have described so far concerns the relationship between the concept of information and natural science. In the age of "computer science", the internet and computers, this concept is inextricably linked to the technology and engineering of communications. All of this would not have been possible without the contribution of Claude Shannon, who is the father of information theory. The less likely an event is to occur, the more information it carries. Shannon linked this possibility to the amount of

information. [1] When we are sure of the outcome of a case, when its probability is 1, then we have no information at all. But the smaller the chance, the more information there is. Throwing a coin (1/2 chance of a heads or tails) brings less information than that of a dice that has six possibilities (1/6 chance). Shannon described mathematically the non-equal probabilities as well. If the possibilities are not equal, some of them are more likely to happen than others. Then the information is reduced. In fact, Shannon did not give exactly the measure of information, but its opposite, the measure of uncertainty, which he called entropy.

Schrödinger, using the tools of physics, tried to confront a higher-level question: "What is life?"[51] The link between non-life and life is found in the interdisciplinary connection of biology, physics, computers and mathematics, with "information" being the key concept. While biology mostly processes the chemical, material, molecular complexity that is inherent in living organisms (the hardware of life), the information complexity (the software of life) is also inherent in them. Through this, organisms reproduce, perform complex processes, move autonomously, organize, interact with each other, sometimes constructively and sometimes competitively with other organisms and their environment, and are subject to evolutionary processes. Through infinite possibilities (disorder), life is a form of organization (order). Life resists the second law of thermodynamics. The organization that takes place in the phenomenon of life presupposes a process of command and control (which is carried out by nucleotides, DNA and RNA). We note that chemical complexity is not enough. Prerequisite is a chemistry that can be supervised and informed, in other words you need chemistry plus information. [2] Information therefore sets the line between life and non-life. [54], [55]

We could say that information appears in differences, or equivalently, that differences are building blocks of information. This recognition gave two definitions of information as a distinction that makes a difference.[57] and as a difference that makes a difference [58]. These differences are the data from which the information is made. One datum is the non-further reversible difference, e.g., the presence of a mole on one of the two twins, or a sound in relation to the silence, or a character on a blank page.

In the methodological framework of this dissertation, the General Definition of Information (GDI) [59] responds to the challenges of the subject, as it connects the information with the data - a necessary connection for informatics and engineering applications - and with the meaning - necessary connection for the consideration of information as a causal agent. Abundantly, for this approach *information = data + meaning*. [60] According to GDI, σ is an information indicator, having semantic content if and only if the following three criteria are fulfilled [13]:

- GDI.1: σ consists of n data, $n \geq 1$
- GDI.2: Data are well-formed.
- GDI.3: The well-formed data are meaningful.

Shannon's information theory is not involved in the issues of meaning transmission. The basic idea of his work is to quantify uncertainty. If a source is scheduled to send the exact same message each time, then there is no uncertainty about what the message contains. The recipient's uncertainty is zero. Each message that transmits information

answers a query. Information, as semantic content, can be described as *query + data*. [13]

The tendency of the systems, based on the second thermodynamic law, is towards disorganization which implies an increase in entropy. This means that the number of microstates corresponding to a given macrostate increases. But how is the organization interpreted in the systems at any given time? How do they oppose the increase in their entropy? The answer to this question is given by the flow of information when the systems interact with each other. This observation leads to the reasoning that information functions as the causal agent that imposes organizations. This interaction can be seen as an exchange of "messages". Messages are forms of patterns and organization and can be treated as sets that have the same entropy. Just as entropy is a form of disorganization, the information that messages carry is a means of organization. [61]

The concept of meaning is not exclusively identified with the cognitive processes in communications with a human recipient. Information is a distinction [57] or a difference [58] which makes a difference. The occurred difference is a process related to organization. Without it, systems, doomed by the second thermodynamic law, would degenerate into a disorganized "chaos". Starting with the living organisms, Kauffman, Logan, et al associate the meaning of structural information transmission with the transformations it brings about in the organization of the systems involved. Meaning is essentially the transmission of the organization. [63], [64] The flow of information conveys the instructions for how each system will be organized (instructional information) and through it the interaction and evolution of the systems is interpreted.

McMullin states that in the 20th century. A.D. there is a rapid "dematerialization of matter", which is the result of three scientific revolutions that characterize this century: relativity, quantum mechanics and cosmology. [65] So, matter has been approached through very different paths in relation to our daily perception of it. Matter and antimatter, matter without mass, particles which give the property of mass to matter, dark particles which interact only with gravitational, virtual particles, particles that make up "nothing", that is, the void, matter equivalent to energy, are just some of the examples that prove that the concept of matter has now moved away from what we can perceive when we touch a stone, when we look at a running car, when we smell a flower or when we taste the grains of salt. Based on this new conception of matter and its relation to energy, one of the most burning questions in modern science arises: are particles or fields the fundamental components of the universe? For both relativistic and non-relativistic systems, particles are considered to emerge from the fields. [71] So quantum field theory, which is recognized as the most dominant and best theory of interpretation of the universe, so far at least, is not based at all on the existence of particles, but considers that the cornerstones of nature are the fields themselves.

It follows from the above that the concept of the field has an upgraded role for modern science. This is a given organization of space in which potential events can occur. One of them is the birth of matter. We observe, therefore, that spatial organization, the geometric formation of the field, is the beginning of all kinds of natural phenomena. Everything that develops, manifests, is born, acts, etc. is done within a "field". And the field is nothing more than a way of organizing a space, each point of which takes on a value that changes

over time. So, Plato's saying "God has always made geometry" («Αεί ο Θεός γεωμετρεί»). or, as it was later said, "Physics is Geometry" was prophetic. [74]

The way in which the aforementioned fields are organized and the forms that give geometric elements to the space are essentially their informative content. It is now clear that matter and energy alone are not enough to fully describe entities and phenomena (natural and non-natural). Information is now upgraded to natural quantity and serves as the cornerstone of entities.

The study of every entity results in the interpretation of the entity's properties regarding the organization of its structure, at material and / or energy level. It is self-evident that information is recorded and encoded in the structure of the entity. It is not just a passive recording of the physical hardware, but in fact it is the set of instructions (software) on the basis of which the entity acquires its tautological characteristics (it became what it is).

Von Neumann developed cellular automata (CA) as a tool for experimenting and analyzing his Universal Computer (UC). It is a mathematical construction for the modeling of the architecture of a structure and its evolution over time. It is a division of space into cells, each of which is in a distinct state. The current state arises from the previous states of the system. A well-known example of CA is the game of life. [78] These information patterns can be seen as units that can shape the cause of an action. These information units, interconnected and interacting with each other, form their own, autonomous relationship, with its own dynamic cause-and-effect relationships.

Structural information can be baptized as "ITformation", a pun that has been introduced by the professor of the National Technical University of Athens and supervisors of this doctoral dissertation, Dr. George Cambourakis. This pun mixes the concepts of entity ("it") and information and at the same time gives the way of organization of the individual (material and intangible) "components" of the entities but also the mechanisms of this organization. [80] The concept of Itformation is based on the possibilities that are opened regarding the organization and action of some structures (entities, systems). In other words, itformation is the provider of possible states, as well as the one who sets the rules for what is permissible and what is not in an organization. Through this, the fields go into different states with corresponding energy and material consequences. Itformation is that which gives properties to the points of space creating "fields" which due to their properties impose all kinds of phenomena. These properties are the information that each entity contains and which in many cases are manageable. So itformation imposes the ways of organizing spaces (that is, the fields). The choice of the term "itformation" tries to function in parallel as a summary umbrella of the various versions of the term "information" in the light of an ontology, inspired by the natural sciences. This ontological approach has been hinted at in Wheeler's famous phrase "It from bit". With this phrase he wanted to show that any "it" is a derivative of information (bit is the non-further reducible unit of information).

While for the perception we have as humanity, the backbone of reality (as we understand it at least) is matter, for modern physics a shift is happening. The role of matter tends to be taken by the concept of information. Vedral believes that the cornerstone of reality is information [8]. Lloyd believes that through the interactions

between the particles, not only energy but also information is transmitted. In other words, the particles do not just collide, but compute. He sees the whole universe as a large quantum computer, which computes its own dynamic evolution. Through the development of this computation, the reality unfolds. [9], [87] Searching for the nature of reality, Tegmark concluded that the universe is not simply expressed in mathematics, but is mathematical in nature. [88]

What summarizes all perceptions is that the cornerstone of reality is informational processes. This is because any method of computation, classical or quantum, or any mathematical process is a derivative of information. The reason is that information organizes space (any space) and gives it properties. This is exactly the information: the process by which entities acquire their organization and through it acquire properties. In other words, information creates fields through which actions take place. And the actions to take place utilize energy and / or matter.

From all the above, we hope that it has become clear that the hitherto dichotomy of matter / energy is not enough to describe entities. Adding information - in the form of information - gives a more complete description. Thus, information, energy, and matter are a triptych of natural quantities that constitute the components of reality. Every real entity can contain matter (therefore, consequently, energy and information), energy (and therefore information), or only information.

A key element in ranking a "something" in the category of entities is to be able to identify it because of its properties, to be characterized as something distinct from the rest. So, it must be limited, it must have limits. The existence of boundaries can therefore be an ontological condition for the determination of entities. From Descartes' "I think so I exist" (*cogito ergo sum*), it has been suggested by Dr. Cambourakis, the transition to "I have limits so I exist" (*Habeat confines ergo Est*). [80]

This view leads to interesting conclusions that go beyond the purely natural world. Is Beethoven's 5th Symphony, for example, considered an entity? Boundary theory leads us to respond positively. The reason is that it has a limit. The number of people who have listened to it, the scores that have been issued, the times it has been performed and its recordings are finite. Similarly, no matter how huge it may be, the number of works it has influenced, or how it even functions as a symbol, remains finite. Because it is a purely informational entity, its limit indicates the finite ability to produce actions (to create fields).

Messaging is a process of exchanging information. Actions are born through this exchange. When the message exchange does not presuppose a reciprocal way of decoding the message from the source and the receiver, then it is the case of an interaction. In order for an interaction to be possible, in principle, the condition is proximity. Because the criterion for the existence of entities is to have limits, a prerequisite for their interaction is the interaction of their limits. When entities interact with each other, then they interact within their boundaries. Only then does the interaction make sense. In other words, entities interact with each other through their boundaries. When an entity interacts with each other, then all the hypostases of its limit interact. A material entity interacts materially, energetically and informationally (material entity = entity type 3). An energy entity, energetically and informationally (energy entity = entity

type 2), while an informational only informationally (informational entity = entity type 1). For example, a musical work, which is an informational entity, must interact with each other in order to be audible (sound energy), and to be able to influence, emotionally or in any other way.

Information causes organizations in space (of any space, not just geometry), through this organization fields are created, which enable the phenomena to develop. Therefore, the exchange of information gives birth to new organizations, which, in turn, set new conditions in the production of potential phenomena. Therefore, information can be considered a control signal.

Two principles ("Self-preservation" and "Communication") can function as the two fundamental "superpowers" of the universe. As Communication, we can consider the tendency of entities to change their boundaries. But there is also the opposite tendency, that of not changing their limit, it is the Self-preservation of entities. Self-preservation and communication act simultaneously by changing the entity's boundary in space and time, so that neither is maximized, and maintaining the entropy of the system within its "age." When the limit of entity changes, this implies the existence of different provisions, a different number of characteristics and properties. In this way their entropy changes.

Moving to the description of musical phenomena through an informational perspective it is important to clarify that the primary form of music organization is not the note itself, but the way the notes form groups. The relationship between the notes when they build groups with some musical meaning (when they are not just scattered sounds) form musical patterns. The musical "continuous" can be divided into sections, into units, which have their own role in shaping the musical work. These smaller sections, which, however, maintain an autonomy in relation to the musical continuum, are the so-called musical "signs". These signs are articulated with specific rules on the axis of time, obeying a form of a "syntax". The choice of a musical sign is influenced by what has preceded and in turn affects what follows. It is a network of interdependent elements, the musical signs. So, music is a system of signs.

In all fields of application, these entities are photographed by a pattern, in which the information they carry is encoded. These patterns are carriers of information and characteristics (expressed as energy or even matter). Those of these patterns which have given an advantage in the selection process, physical or universal, are the ones that dominated and remained through heredity (Universal Darwinism). Examples of such patterns, which are subject to the above mechanisms are: genes, cultural products (memes), technological products, neuronal connections, laws, quantum states, and even entire structures of the universes (e.g., galaxies).

For the definition of the musical memetics the approaches regarding the hierarchical position are important, both at the level of cultural hierarchies (copying patterns - replication of patterning - in different layers within the cultural context) and at the level of structural hierarchies (copying patterns in different layers within the musical work). The connection of memetic science with the hierarchical layers is possible due to the common understanding of the concept of copying. Meyer defines style as a copy of both human behavior and its derivatives, which is the result of choices made within

limitations. [132] This copy of templates takes place at each individual level of the above pyramid. Copying these templates gives cohesion in each work (intra opus style).

Music is a constant flow of information. Whether a piece of music is divided into individual parts or sections is a whole with unifying elements. But we said that memes are units of cultural information. The music meme must be memorable and have the characteristics of a good copywriter. However, although its length must be short, it must also be large enough to be a carrier of structured, autonomous, compact, and recognizable information.

From our reports so far in memetic science and semiotics / semiology, it is clear that the goal setting as well as the methodology of these two approaches have many similarities. In essence, this is an attempt to fragment a cultural continuum - with more important applications in the cultural phenomena of linguistic structure, that is, in language and music - and to study the role of the units that result from this fragmentation. The network they develop with each other and the way they interact are studied. Attempts are being made to identify their value as autonomous units, the way in which they work with others to construct broader structural units as key structural components, as well as their relationship within the respective unit in which they are located. Whether we are referring to signs or memes, what is implied is a pattern with a structure, which carries information content. An important difference is that while semiology deals with the way a structure is interpreted (speaking in terms of semantics, what is meant and how it is connected to the meaning structure), memetic science deals with the way in which this structure is constructed and survives in the competitive environment of cultural choice. Indicatively, the smallest information unit to be transferred is defined as a meme, while the smallest information unit which is meaningful is defined as a sign. Thus, semiotics has developed better tools for studying phenomena in their time snapshots, while memetic science is more effective in studying their evolution over time, as a byproduct of Darwinian biological evolution.

At the level of a musicological approach, paradigmatic analysis is the first stage of semiotic analysis, as proposed by Nattiez. [112], [131]. Methodologically, it involves at first the segmentation of the piece into segments. Then, the similarity presented by these pieces regarding specific characteristics is examined and, based on similarity criteria, they are grouped into musically important categories. These categories are called "paradigms". [138], [139]

Both approaches, both that of paradigmatic semiotic analysis and that of finding memetic co-equals, are based on the common understanding that music is a union of units, many of which have similarity relations, through which the coherence of the music work is ensured. In other words, in order for a piece of music to be coherent, the listener must be able to relate something that hears to something (s)he has already heard. After all, the most basic principle that governs music is that of repetition. We need "reference" samples, which act as structural units for composing musical works with coherence. The semantic analysis calls these reference samples paradigms, while memetics calls them co-equals. Both the paradigmatic semiotic analysis and the memetics include the search for musical "patterns" in which a statistical repeatability is confirmed.

We have referred, in the first stage of semiotic analysis, the paradigmatic one, which included the fragmentation of continuous musical material into parts, in which repeated patterns were identified and grouped into paradigmatic categories based on similarity criteria. In the second stage, the syntactic analysis, it is investigated how the above examples are structured in the linear chronological evolution of the piece and an attempt is made to identify the new patterns that are formed. Alternative ways of depicting a musical work, such as the spectrum of a recording, can capture the musical patterns that have been produced and distinguish the autonomous structural units through which the musical work is constructed. In this way, semiology and memetic science can be applied to works other than classical Western music, even to non-score works, such as electronic and electroacoustic music. [156]

Musical information is stored in the human brain. A music piece exists even when it is absent (it is not played at that time). Even when a song is not played, if its elements are satisfactorily stored in our brain, we can imagine them and "sing" them internally. An extensive study of "musical memory" has been done by Jan entitled «Music, Memory, and Memes in the Light of Calvinian Neuroscience» [169]. It examines memory models based on classical brain / mind dichotomy, as reflected in the fields of neurobiology and psychology respectively. In terms of neurobiology, it examines how musical patterns are represented in neural interface patterns, while in psychology, it examines how consciousness acquires access to stored musical information. When it comes to neurobiology, the general idea is that music patterns are stored in the brain through structural formations of the neural network, as well as in the form of patterns.

Aesthetic pleasure is the result of an anticipation, the fulfillment of a musical expectation. [19] Half a century later, Meyer's philosophical approaches to the role of anticipation in shaping musical meaning and emotion are confirmed. [18]

The primary question we need to answer is what defines a "musical entity". The phrase that describes the ontological condition is: "it has limits so it exists". Therefore, the answer to the question of what constitutes a musical entity will arise from the exploration of boundaries. The energy and material relations mentioned are necessary for its transmission and not for the characterization of a musical entity. A musical entity is purely informational. A prerequisite for the existence of a musical entity is not its performance. We have mentioned that information is what enables actions in entities. It is the one that produces the fields in which any phenomena take place. However, the existence of a field does not necessarily imply actions but only potentiality. So, the field of music entities exists, even when they are not heard, or no one is thinking about them, or they are just listed in the scores of a library or recorded in a record store. Therefore, they can (potentially) act. Because musical entities create only their field of action, they are classified as purely informational entities (type 3).

For the determination of a musical entity, the existence of its informational limit must be determined. The informational limit includes the "space" of all the potential actions. So, its limit is located in the "spaces" where the musical entity is stored, but also in those that act. An additional proof of their limit is that they have a specific title, composer, duration, etc. There are specific labels which they identify it as an entity. Also, the existence of a limit is proved by the fact that the number of copies and the number of

actions is finite. So, based on the ontological condition "it has limits, therefore it exists", Beethoven's 5th symphony can be characterized as (musical) entity. But music, in general, is not an entity, but a concept.

Humans store cultural information through embodied processes and through complex neural networks, which are associated with body movement, hormone secretion, etc. These embodied codings are associated with musical sounds, which are derivatives of a structure. In semantic terms, embodied patterns are associated with musical signs. This connection has been made because man is exposed to a cultural environment with which (s)he interacts, and acts as the potential host of the musical memes (s)he receives. With this process, (s)he becomes a "memetic pool" him/herself, or, based on our own terminology, acquires an itformational limit.

The composer's itformational limit provides the composing materials and the way in which (s)he will process them. Both communication and self-preservation are clearly present. The stored music signs, in an archetypical form, set the compositional framework. These musical signs are entities themselves, encoded in musical patterns. The degree of their variation, i.e., the change of their limits, which the composer will choose, is communicative in nature. On the contrary, the degree of their preservation, that is, the maintenance of their limits, is self-preserving. The new sign that is created acquires the corresponding structural condition which is also reflected in the level of representation / selection of notes (score).

Based on the above, it appears that the composer and the constructed musical work (both entities) share a common itformational boundary. The musical entity is nothing but the transformation (of parts) of the composer's itformational boundary. In order to be able to reach the listeners, the work's itformational limit must be able to interact with theirs. As mentioned above, the itformational action of the work, which is structurally manifested by the formation of specific patterns, must be able to be related to the stored embedded pattern of the listener. Listening is nothing more than works itformational limit transformed on the listener's one.

Culture is generally an interaction of itformational boundaries. But, in order for someone to communicate an idea (memetics), (s)he must somehow reproduce it. In music, the main mean of reproduction is sound. The itformation of the work has been recorded in the score. The score is read by the musician (the player, the conductor, etc.) and performed. It is again an interaction of the itformational limit of the work and the musician, through the score. The musical signs, as patterns, of the musical work are transformed into symbols (usually notes, but this is not the rule, there are, for example, graphic scores) in a notation system. From one organization of space (itformation) we are led to the organization of another space.

When the stored itformation interacts with the musician and the musical instrument, or with an electronic playback system (e.g., stereo or mp3 player), then the timeless itformation is organized and sound events unfold. We have a flow of information, in the case of music, linear. It is the case in which itformation uses its denser textures to act. When we have an energy flow, then it is connected to the flow of information in a medium, as described in Shannon's telecommunications model. From the potential "recipes" provided by itformation, the entity unfolds over time and acquires expression.

In this way the characteristics and properties of the entity are highlighted. It becomes, in a sense, a carrier of information.

However, control is also exercised during the process of composing a musical entity. Just as the informational musical signal imposes human organizations (e.g., when they dance), it, respectively, imposes organizations on the parts of the human body (mainly the brain) in which musical information is stored and processed. Depending on the way in which these organizations will be reorganized, the way of receiving, perceiving and processing musical information also changes, therefore the way of composing music changes as well.

In his monumental work "Emotion and Meaning in Music", Meyer [18] attempts to identify the way in which an audio structure becomes a carrier of emotion and musical "meaning". In short, the answer to the above lies in the balance between the expected and the unexpected. Each listener, based on their musical experiences, has a sense of what may follow during the hearing. This feeling is sometimes confirmed and sometimes dispelled.

Each musical entity is an articulation, an assembly of musical patterns. In an audio stream, what is being considered is when and how occurs the change from one pattern to another. At the same time, however, it is examined how each pattern is used. In all these cases we see that something is stable, and something is changing. Through this relationship, musical entities acquire coherence. Some autonomous parts of the music material are reused either intact and unaltered, or modified. Despite the changes, however, their backbone is preserved, their origin is recognized. The original template, which is used as a basis for modifications, therefore acquires an archetypal character. Paradigmatic semiotic analysis divides the musical material into groups of "examples" and the mimic science into groups of "co-equivalents". Both methodologies follow essentially the same path. After segmenting the music continuously with different methods, they study the common properties of these pieces. Based on these common properties, they decide whether it is a variation of a pattern that has already been identified or whether it is a new one. This results in these groupings. The patterns are found in all the layers of composition of a musical work, both in terms of microstructure (theme, pattern, etc.) and macrostructure (e.g. form of sonata, rondo, etc.).

The classification into pattern groups is obtained by comparing them with an (supposed or real) archetypal pattern. This acts as a "reference signal". In order for a listener to understand that this is a reappearance of this reference, albeit a varied one, it must already have it clearly in its mind. Prerequisite for this is repetition. The correlation and comparison of musical material is done only through repetition. Repetition is identified as a necessary synthetic tool for the musical work to acquire a solid backbone. The basic building blocks are its trunk and the variants are the branches through which the leaves, flowers and fruits grow. That is, the interesting points of the tree. In fact, the vast majority of musical works have a clear element of repetition.

Repetition provides the ability to match a reference signal and its derivatives, while it familiarizes the listeners with what they perceive as music. In this way, it provides them the necessary tools which enable them to "guess" the music that comes next, so that we

can also "play" in the game of confirmation or not of an expectation. After all, aesthetic pleasure comes from the outcome of this game.

All this process, which the human brain does so quickly, successfully and spontaneously, is mathematically part of topology, group theory and category theory. Based on these mathematical models, it is examined which musical pieces meet the conditions to be characterized as a "group", how the elements of this group are varied (permutation) and the morphisms between them, i.e., the degree and the way in which the various groups are related. The above theory highlights the fact that a musical stream in practice is not an autonomous musical unit, but a network of interdependent sections which, per group, have a structural affinity (morphism). Each musical work can therefore be represented through different levels of abstraction, through appropriate morphisms.

The development of symmetries is, based on our terminology, product of self-preservation. It reduces the tendency to change the limits of the musical entity. In other words, it maintains entropy at low values. The development of a completely new musical material introduces new possible provisions. It is a new recipe, which new ingredients are needed for its implementation. Symmetry, however, uses the same ingredients, although a new recipe exists. Therefore, we need much less information to describe the new work. If, for example, we need a number of bits to describe in detail the characteristics of a car, when the next version is released, it is enough to say "it's like the old one, with the difference that it has an additional feature. The description of the new model needs much less information. Therefore, the number of provisions for the description of these two cars is much smaller than that for the description the second car from scratch. The new system has much less entropy than the system of two completely unrelated cars.

Music creation is based on the rules of music. The rules of music are, after all, the relationships that are statistically confirmed. Therefore, causality is also observed here (in this case, not classical, but probabilistic determinism), since the use of some tones imposes which tones can be used later. The rules also offer, like symmetries, entropy control mechanisms. In other words, the composer's choices are not completely free. If we consider musical work as a system, then we realize that this "freedom" implies a restriction of the provisions of the system.

Let's take a closer look at the causal relationships that appear in music. We've referred to the perception of sound as music when what we hear can be associated with something we've already heard and identified as music. Listening to certain sounds (earlier event - cause) triggers specific formed neurons in the brain (later event - effect). On the other hand, of course, because neurons are formed in this way (earlier event - cause) we perceive the received sound as music (later event - result). Sound triggers neurological processes which in turn trigger music intake. The circle closes and we observe the circular causality.

We have mentioned that each entity is distinguished from the rest due to its properties / characteristics. A man, for example, stands out from the rest by the color of his hair, the shape of his face, his height, some very special elements, such as a mole and so on. If we start removing these details, in the early stages of removal we will still be able to discern which person it is. But if we go further, we will come to an archetypal form of a human figure, from which we cannot identify elements (e.g. age, gender, body structure, etc.)

that identify who it is. In a similar way we can talk about musical entities. The most common abstraction method of musical analysis is that of Shenker. Roughly, the analyst at each stage of analysis chooses, based on certain criteria, which notes are important, and which are not. The insignificant ones are removed. In this way, at each stage we penetrate the deeper structure. With this removal, fewer and fewer details are presented at each step. Details, important or not, are the qualities that describe any musical entity. Therefore, information is removed at every step of this analysis. The provisions describing the musical entity are becoming less and less. The entropy decreases. When entropy is minimized, and we end up with Ursatz then we can't tell the musical entities apart. It is a case of maximizing self-preservation. In order for entities to exist, in addition with self-preservation, communication, as the tendency to change boundaries, must coexist. Communication implies the provision of additional configurations, of which the details that will give substance to the musical entity will come.

Aesthetic pleasure is realized in music through the confirmation or not of an anticipation. The surprise will offer an excitement. But it has to be balanced and still based on the familiar. The expectation must once be confirmed, so that the musical foundation is strong. But sometimes there must be a surprise, through which listening will offer something unique. These assessments of the philosophy and aesthetics of music are also confirmed neurophysiologically. While anticipating for a certain segment of music, as the listener waits to hear what (s)he predicts, the brain secretes dopamine, a hormone that is associated with pleasure (dopamine is secreted when we eat something we like or during sexual intercourse).

Every musical entity is a system. It is a joint of sounds (usually notes), a flow of audio information. Imagine a piece in which the composer wants to add more and more innovations, ornaments and details. In other words, (s)he wants to change its boundaries (communication). This will add a lot of extra features to the system. The entropy of the system will increase. If this trend is maximized, then this piece will degenerate into noise. Its self-preservation did not "save" it. We observe, therefore, that the realization of aesthetic pleasure, through the confirmation or not of an anticipation, implies a game of entropy. Excessively high entropy results in noise. Too low does not allow the entity to acquire properties. Therefore, the operation of two opposite tendencies (self-preservation and communication) is required. Therefore, what "tames" entropy can be considered the "necessary evil."

Moreover, we have developed a tool for computational archaemusicology. Archaeomusicologists commonly use methods based on the physical properties and the relative tuning system of a musical instrument in order to estimate its tones. However, because the musician often alters the tones' frequency, for example, while playing in wind instruments by means of embouchure or by stressing the string in string instruments, the current methods that neglect the musician's interaction with the instrument cannot provide solid results. In this work, we introduce Entrotuner [22], a computational method, based on mathematical optimization, to more accurately estimate the generated tones by considering: the instrument as a sound production mechanism, the relevant musical scale(s), and the musician's interaction with the instrument. We simulate this interaction as a system that, by following tuning rules, aims to maximize the partials' overlap (harmonic), coded as entropy's minimization of the aggregated tones'

spectrum. Last, we put Entrotuner into practice for the ancient Greek wind instrument Aulos. The results reveal that, compared with the traditional methods, Entrotuner highlights increased harmonicity (entropy decreased by 0.341bits), eleven additional consonant intervals, as well as 47.8% more tuning quality for the musical instrument.

Information is a concept widely used in colloquialism. This gives a special impetus to its study, since everyone is familiar with it. At the same time, however, it delimits its systematic approach through a scientific methodology, because the researcher is called to go beyond the meaning of the word in the colloquial, which is inherently difficult. It is a fact that the phrase "information is a physical quantity" to anyone who is not an initiator of Philosophy and Information Science may sound arbitrary, unfounded or metaphysical. We want to believe that, even for the most suspicious reader of this dissertation, any such perception will have been removed.

While science has been concerned with the concept of information for almost a century, the independent academic field of "Information Science and Philosophy" has been timidly established only a few decades ago. The substantial contribution of this dissertation lies mostly in the further formation of Science and Philosophy of Information as an independent academic field and in its further development.

More specifically, in order to achieve the goal of the dissertation, which is the construction of an original ontology based on information as a physical quantity with applications in musicology and music informatics, we answered the research questions as they have been formulated above.

The science and philosophy of information is a newly formed field which is in the process of forming a commonly accepted framework. Because the concept of information is approached from different paths of the natural sciences (eg, Thermodynamics, Telecommunications, Quantum Mechanics, Biology, Theoretical physics, Government, Informatics) in order to form the aforementioned commonly accepted framework, common conclusions of these different approaches must first be drawn, which will be the backbone of the construction of the field (research question 1). In this dissertation we described the different approaches of the natural sciences regarding the concept of information and its relation to the size of entropy. This is not just a bibliographic review, but an original comparative study of these different approaches, in order to examine what common conclusions emerge in the form of findings. This original comparative study yielded four findings that answer the research question 1: 1) information is a physical quantity itself, 2) information is independent of the substrate on which it is encoded, 3) information flow organizes structures, and 4) there is a reversal in the relationship of information with physical reality (information was considered the result of an observation, while now the entity emerges as a derivative of information). At the same time, we examined the relationship of information to the structural features of systems and the way in which the flow of information imposes organizations. This element is very important because it introduces a new conceptual position regarding the meaning of information: information is not only the result of observation and description of the properties of a system, but also systems' organizational principle. This shift is related to the relationship of information with the nature of reality (research question 2). In our study we highlighted the reasons why information can be considered as a fundamental

quantity through which reality unfolds. Based on the above, this paper formulates an original information ontology (research question 3). This ontology is based on the fact that entities arise as derivatives of information. For this reason, the term "itformation" is introduced, which is the organizational principle of the entities, as opposed to the information, which is related to the result of the observation of the entities. Entities are divided into three categories, based on their informational, energy and material content, and interact through their boundaries. Therefore, the existence of boundaries emerges as an ontological condition. Finally, we propose self-preservation (tendency to maintain boundaries) and communication (tendency to change boundaries) as laws of universal force in all in principle possible entities.

The original informational ontology we developed claims the possibility of its application in entities beyond the purely natural (material - energy) world, such as music (research question 4). Itformation is the one that imposes the building rules of systems. The musical entity acquires its characteristics mainly from the (geometric) relations of the components through which it is structured. The fact that music is structured through patterns makes it a capable case study of our ontology. Music, according to Varese, is organized sound. Musical itformation is the organizing principle of potential musical entities. It is it which will determine which geometric relationships of sounds (audio) or symbols (notation, midi, etc.) are permissible. The organizing principle is reflected in Bateson's definition: information is a difference (A) that makes a difference (B). Musical itformation is related to this definition through the rules (such as the tonal system, scale, rhythm, form, etc.), which are the generators of sound differences (A) which when perceived are considered as music (B). Musical itformation determines which of the potentially infinite sound organizations (maximized entropy system) are permissible. Musical itformation therefore imposes the regulatory principles of music construction. This is evident in the paradigmatic semiotic analysis, in which the musical continuum is divided into segments which are grouped according to their common properties. Thus, a set of archetypal patterns is formed which appear in the musical work in different versions - implementations. Meyer argued that aesthetic pleasure is associated with the confirmation or not of prediction, which is confirmed in biological-neurophysiological days. In order for the listener to be able to predict the evolution of the musical work, he is trained through listening to pattern recognition. This is achieved through the storage of musical information in the human brain. The musical patterns it adopts are structurally related to structural patterns in the brain (mainly the neural network), which is associated with the ability of information to impose organizations through the flow from one system (sound) to another (that of the neural network). The fact that music is organized sound does not mean that every organized sound is music, except the one that can be related by the listener to the musical information stored in his/her brain. Abstract musical analysis methods (eg Schenkerian) are structured through the gradual removal of notes with a secondary structural role so that the deeper structure can be identified. The deeper structure is of no musical interest because it is completely predictable. Ignorance is zero, entropy is minimal. In contrast, the least predictable system is that of random vehicle articulation, which in signal theory simulates noise. Then ignorance, and hence entropy, become maximal. Music, therefore, through construction rules (itformation) imposes organizations of sound such that 1) entropy will be maintained at controlled levels (high enough to create surprise and low enough to allow predictability) and 2) can be correlated

with the music information stored in the listener. So musical information is the result of the study of a musical entity, while musical information is the organizational principle of building potential musical entities (research question 5).

While for science information has been considered as the result of the observation of the physical world (matter and energy) we have shown that modern approaches favor the reversal of this relationship (information - information defines the structure of the physical world). We found this inversion in the case of musical instruments, which are made in such a way as to reproduce the notes defined by the respective musical system in which they belong. Musical instruments are the representation of the tonal system in matter. The musical system is based on spatial relations in the field of frequencies, and the musical instruments in spatial relations in the field of matter. In essence, a structural transformation takes place from one field to another. Musical instruments are therefore mechanisms for maintaining entropy at controlled levels. As mechanisms, however, they leave degrees of freedom in the interaction with the respective user, who with various performance techniques can readjust the pitch of the instrument. The organizational principles of information take place, therefore, through the three main pillars of musical performance: 1) the musical (tonal) system, 2) the musical instruments and 3) the performer. Each of these pillars helps maintain entropy at manageable levels, which is a prerequisite for the emergence of musical meaning. When archaeologists try to determine the tuning of a musical instrument, they rely on methods based on both the physical properties of the instrument and the basic tonal systems of the time to which the instrument refers. However, the prevailing methods do not take into account the ability of the musician to reshape the pitch as he/she plays (on wind instruments by means of embouchure, on strings by changing the properties of the string, such as tension and length). The main contribution of this dissertation is the development of the Entrotuner model (as published in the journal IEEE Access [22]), which is a computational method based on mathematical optimization models and aims to more accurately determine the pitch produced of an instrument (research question 6). This is achieved by taking into account the instrument as a mechanism of sound production, the musical scales which were adopted at the time of reference of the instrument, as well as the interaction of the musician with the instrument. We simulate this interaction as a system in which partial overlap is maximized and coded by minimizing the entropy of the overall instrument spectrum. We have shown how entropy as a physical quantity can be utilized to simulate an ideal user seeking to reproduce an organized spectrum (maximizing partials overlap is mathematically translated as minimizing entropy). It is not trivial for the Archaeomusicologists to find: a) skilled players and b) replicas of ancient musical instruments [189], [194], in order to carry out musicological studies and extract useful information. The proposed simulation of the player's interaction overcomes the limitations of the previous approaches. Moreover, it provides a powerful tool that gives a robust indication of the generated tones. As a case study, we used the Aulos of Louvre and compared our results with the existing literature [212]. We found a significant increase both in the tuning quality of the musical instrument (47.8%) and in the consonant intervals (11 additional). The Entrotuner's predicted tones and the corresponding intervals result in the re-determination of the musical scales and a more in-depth understanding of the musicological aspects of an era.

Based on the above, the contribution of this dissertation is located in four main points:

1. Presentation of the path of scientific thought which led to the emergence of information as a physical quantity, the study of which claims to establish a compact, autonomous academic field. An original comparative study of the different approaches to the concept of information from the natural sciences was presented, through which the findings emerged which contribute to a coherent description of these different paths in a single, commonly accepted context.
2. Extension of the findings of this academic field, with the proposal of a new original ontology based on the natural meaning of information, which is built on the shift of the position of information regarding the nature of reality (from bit from it to it from bit). The term *itformation* is introduced in contrast to the term *information*, in order to clarify this shift.
3. Presentation and description of how the above interpret a specific phenomenon, with music been chosen as the case study. The elements that identify musical properties in sound entities were identified. The structural correlations at the neutral level of the work, at the level of the creator and at that of the listener were described.
4. Presentation of how our approach, although theoretical in nature, can shape the framework for the development of specific scientific and technological practical applications. In this case, we presented an application in the field of computational Archaeomusicology, which for the first time includes the interaction of the user of the musical instrument in the estimation of the produced scale which the instrument is programmed to reproduce.

This doctoral dissertation can be the starting point of many future directions. The autonomy of information as a physical quantity and the study of the information flow, regardless of the substrate on which it is registered and manifested, can trigger a variety of applications and open new paths that the scientific community is called to cross. The abstract study of phenomena through which the information structures that are inherent in the phenomenon are highlighted can provide computational models that can interpret and predict behaviors. Thus, structural affinities can be identified in systems that until now were completely unrelated. Pattern recognition in computer information flow models will interpret mechanisms unknown until now. The modeled information flow, expressed in different material and / or energy substrate, will produce new approaches. For example, modeling the movement of flocks of birds when approaching an obstacle could be used to jointly and safely avoid obstacles of autonomous vehicles that appear to soon dominate the market. Also, modeling the flow of information in living organisms could provide clues to life on other planets based on inorganic compounds. Also, our holistic approach, which finds the material / energy / information correlations, can assist in the development of applications in the context of the 4th industrial revolution and the Internet of things, through the structural transformations brought about by the flow of information. through interconnected devices.

An additional open field is the objectification of semantic information. Shannon proposed the mathematical quantification of information coded in a message. His approach, despite its importance, concerns only the possibility of the outcome of an

event. The semantic extensions of the outcome of this event do not enter into its approach. The mathematical, objective description of the semantic extensions of information (that is, the effect that the receipt of the message will have on the receiver) is a challenge. Through it, more efficient applications in the field of music information retrieval can be developed, especially with regard to the personalized proposal of new sounds. It will also assist in the development of sonification algorithms, so that the achievement of the goal of the sounding process can be quantified, measuring the effect that the reception of the sound representation of a phenomenon will have on the listener.

The transformations that take place through and due to the flow of information can contribute to the development of hybrid art forms. The informative content of a dancer's movement, visual structures on a painting, or the actions that take place in a video game can be audio-visualized and formulate automated music composition algorithms. The mixing of arts, artistic, aesthetic and cultural requirement of the time, is now technologically feasible.

Finally, the extension of the Entrotuner's methodology can contribute to the further development of computational musicology applications. In particular, the musical scales in which the ancient Greek musical instruments were tuned can be re-evaluated by applying Entrotuner to their study. Also, algorithms for estimating the parts that have been destroyed in ancient instruments can be developed, as well as the design of instruments based on predefined characteristics.

Αναφορές

- [1] C. E. Shannon, “A mathematical theory of communication,” *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, no. 3, pp. 379–423, 1948.
- [2] P. Davies, *The Demon in the Machine: How Hidden Webs of Information Are Finally Solving the Mystery of Life*. Penguin UK, 2019.
- [3] V. Y. Tsvetkov, “Cognitive information models,” *Life Sci. J.*, vol. 11, no. 4, pp. 468–471, 2014.
- [4] L. Susskind, *Ο πόλεμος της μαύρης τρύπας: Αντιμαχίες με τον Stephen Hawking στο μέτωπο της σύγχρονης θεωρητικής φυσικής*. Κάτοπτρο, 2010.
- [5] Z. Lu, D. Mandal, and C. Jarzynski, “Engineering Maxwell’s demon,” *Phys. Today*, vol. 67, no. 8, pp. 60–61, 2014.
- [6] N. Wiener, *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Technology Press, 1948.
- [7] R. Landauer, “Information is physical,” *Phys. Today*, vol. 44, no. 5, pp. 23–29, 1991.
- [8] V. Vedral, *Decoding reality: the universe as quantum information*. Oxford University Press, 2018.
- [9] S. Lloyd, “The computational universe,” *Inf. Nat. Real. From Phys. to Metaphys.*, pp. 92–103, 2010.
- [10] J. A. Wheeler, “Information, physics, quantum: The search for links,” *Complexity, entropy, Phys. Inf.*, vol. 8, 1990.
- [11] P. Davies, “Universe from bit,” in *Information and the Nature of Reality*, Cambridge University Press, 2014, pp. 83–117.
- [12] P. C. W. Davies, “The implications of a cosmological information bound for complexity, quantum information and the nature of physical law,” *Cris. S. Calude*, p. 69, 2007.
- [13] L. Floridi, *Information: A very short introduction*. OUP Oxford, 2010.
- [14] L. Floridi, “What is the Philosophy of Information?,” *Metaphilosophy*, vol. 33, no. 1-2, pp. 123–145, 2002.
- [15] W. Hofkirchner, *Emergent information: A unified theory of information framework*, vol. 3. World Scientific, 2013.
- [16] S. M. Ali, “Race: the difference that makes a difference,” *tripleC Cogn. Commun. Co-operation*, vol. 11, no. 1, pp. 93–106, 2013.
- [17] A. A. Moles, “Theorie de l’information et perception esthetique,” 1958.
- [18] L. B. Meyer, *Emotion and meaning in music*. University of Chicago Press, 1956.
- [19] V. N. Salimpoor, M. Benovoy, K. Larcher, A. Dagher, and R. J. Zatorre, “Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music,” *Nat. Neurosci.*, vol. 14, no. 2, p. 257, 2011.

- [20] B. P. Gold, M. T. Pearce, E. Mas-Herrero, A. Dagher, and R. J. Zatorre, “Predictability and uncertainty in the pleasure of music: a reward for learning?,” *J. Neurosci.*, vol. 39, no. 47, pp. 9397–9409, 2019.
- [21] M. Schedl, E. Gómez Gutiérrez, and J. Urbano, “Music information retrieval: Recent developments and applications,” *Found. Trends Inf. Retrieval*. 2014 Sept 12; 8 127-261., 2014.
- [22] K. Bakogiannis, S. Polychronopoulos, D. Marini, C. Terzēs, and G. T. Kouroupetroglou, “ENTROTUNER: A computational method adopting the musician’s interaction with the instrument to estimate its tuning,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 53185–53195, 2020.
- [23] L. Szilard, “On the decrease of entropy in a thermodynamic system by the intervention of intelligent beings,” *Behav. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 301–310, 1964.
- [24] R. Landauer, “Irreversibility and heat generation in the computing process,” *IBM J. Res. Dev.*, vol. 5, no. 3, pp. 183–191, 1961.
- [25] C. H. Bennett and R. Landauer, “The fundamental physical limits of computation,” *Sci. Am.*, vol. 253, no. 1, pp. 48–57, 1985.
- [26] M. O. Scully, “Extracting work from a single thermal bath via quantum negentropy,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 87, no. 22, p. 220601, 2001.
- [27] Y. Zhou and D. Segal, “Minimal model of a heat engine: Information theory approach,” *Phys. Rev. E*, vol. 82, no. 1, p. 11120, 2010.
- [28] S. Toyabe, T. Sagawa, M. Ueda, E. Muneyuki, and M. Sano, “Information heat engine: converting information to energy by feedback control,” *arXiv Prepr. arXiv1009.5287*, 2010.
- [29] M. D. Vidrighin, O. Dahlsten, M. Barbieri, M. S. Kim, V. Vedral, and I. A. Walmsley, “Photonic Maxwell’s demon,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 116, no. 5, p. 50401, 2016.
- [30] G. Paneru, D. Y. Lee, T. Tlusty, and H. K. Pak, “Lossless Brownian information engine,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 120, no. 2, p. 20601, 2018.
- [31] J. J. Park, K.-H. Kim, T. Sagawa, and S. W. Kim, “Heat engine driven by purely quantum information,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 111, no. 23, p. 230402, 2013.
- [32] J. Diazdelacruz and M. A. Martin-Delgado, “Quantum Information Remote Carnot Engines and Voltage Transformers,” *Entropy*, vol. 21, no. 2, p. 127, 2019.
- [33] M. Tegmark and J. A. Wheeler, “100 years of quantum mysteries,” *Sci. Am.*, vol. 284, no. 2, pp. 68–75, 2001.
- [34] A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda, T. Kawasaki, and H. Ezawa, “Demonstration of single-electron buildup of an interference pattern,” *Am. J. Phys.*, vol. 57, no. 2, pp. 117–120, 1989.
- [35] J. S. Bell, “On the problem of hidden variables in quantum mechanics,” *Rev. Mod. Phys.*, vol. 38, no. 3, p. 447, 1966.

- [36] P. Goyal, “Information physics—towards a new conception of physical reality,” *Information*, vol. 3, no. 4, pp. 567–594, 2012.
- [37] J. S. Bell, “On the einstein podolsky rosen paradox,” *Phys. Phys. Fiz.*, vol. 1, no. 3, p. 195, 1964.
- [38] E. F. Taylor and J. A. Wheeler, *Exploring black holes*, vol. 98. Addison Wesley Longman San Francisco, CA, 2000.
- [39] J. D. Bekenstein, “Black holes and entropy,” *Phys. Rev. D*, vol. 7, no. 8, p. 2333, 1973.
- [40] D. Christodoulou, “Reversible and irreversible transformations in black-hole physics,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 25, no. 22, p. 1596, 1970.
- [41] J. M. Bardeen, B. Carter, and S. W. Hawking, “The four laws of black hole mechanics,” *Commun. Math. Phys.*, vol. 31, no. 2, pp. 161–170, 1973.
- [42] R. Ruffini and J. A. Wheeler, “Introducing the Black Hole.,” *Phys. Today*, 1971.
- [43] S. W. Hawking, “Particle creation by black holes,” *Commun. Math. Phys.*, vol. 43, no. 3, pp. 199–220, 1975.
- [44] S. W. Hawking, “Black hole explosions?,” *Nature*, vol. 248, no. 5443, pp. 30–31, 1974.
- [45] S. W. Hawking, “Black holes and thermodynamics,” *Phys. Rev. D*, vol. 13, no. 2, p. 191, 1976.
- [46] A. Strominger and C. Vafa, “Microscopic origin of the Bekenstein-Hawking entropy,” *Phys. Lett. B*, vol. 379, no. 1–4, pp. 99–104, 1996.
- [47] B. Zhang, Q. Cai, M. Zhan, and L. You, “Entropy is conserved in Hawking radiation as tunneling: a revisit of the black hole information loss paradox,” *Ann. Phys. (N. Y.)*, vol. 326, no. 2, pp. 350–363, 2011.
- [48] T. Jacobson, “Thermodynamics of spacetime: the Einstein equation of state,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 75, no. 7, p. 1260, 1995.
- [49] S. L. Braunstein and M. K. Patra, “Black hole evaporation rates without spacetime,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 107, no. 7, p. 71302, 2011.
- [50] S. W. Hawking, M. J. Perry, and A. Strominger, “Soft hair on black holes,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 116, no. 23, p. 231301, 2016.
- [51] R. Schrodinger and E. Schrödinger, *What is life?: With mind and matter and autobiographical sketches*. Cambridge University Press, 1992.
- [52] R. Dawkins, *Climbing mount improbable*. WW Norton & Company, 1997.
- [53] I. Prigogine and I. Stengers, *The end of certainty*. Simon and Schuster, 1997.
- [54] B.-O. Küppers, “The nucleation of semantic information in prebiotic matter,” in *Quasispecies: From Theory to Experimental Systems*, Springer, 2015, pp. 23–42.
- [55] C. Rovelli, “Meaning and intentionality= information+ evolution,” in *Wandering towards a goal*, Springer, 2018, pp. 17–27.

- [56] N. Symonds, “What is Life?: Schrodinger’s Influence on Biology,” *Q. Rev. Biol.*, vol. 61, no. 2, pp. 221–226, 1986.
- [57] D. M. MacKay, *Information, Mechanism and Meaning*. MIT Press Classic, 1969.
- [58] G. Bateson, “Steps to an Ecology of Mind: Collected essays in anthropology,” *Psychiatry, Evol. Epistemol.*, vol. 381, 1972.
- [59] L. Floridi, “Semantic conceptions of information,” *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. 2019.
- [60] L. Floridi, “Is semantic information meaningful data?,” *Philos. Phenomenol. Res.*, vol. 70, no. 2, pp. 351–370, 2005.
- [61] N. Weiner, “The human use of human beings,” *Cybern. Soc. Boston, Hought. Mifflin Co*, p. 71, 1950.
- [62] N. K. Hayles, *How we became posthuman: Virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics*. University of Chicago Press, 2008.
- [63] S. Kauffman, R. K. Logan, R. Este, R. Goebel, D. Hobill, and I. Shmulevich, “Propagating organization: An enquiry,” *Biol. Philos.*, vol. 23, no. 1, pp. 27–45, 2008.
- [64] R. K. Logan, “What is information?: Why is it relativistic and what is its relationship to materiality, meaning and organization,” *Information*, vol. 3, no. 1, pp. 68–91, 2012.
- [65] E. McMullin, “From matter to materialism... and (almost) back,” *Inf. Nat. Real. From Phys. to Metaphys.*, pp. 13–37, 2010.
- [66] S. Bais, *The equations: icons of knowledge*. Harvard University Press, 2005.
- [67] R. L. Jaffe, “Casimir effect and the quantum vacuum,” *Phys. Rev. D*, vol. 72, no. 2, p. 21301, 2005.
- [68] C. M. Wilson *et al.*, “Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit,” *Nature*, vol. 479, no. 7373, pp. 376–379, 2011.
- [69] V. Trimble, “Existence and nature of dark matter in the universe,” *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 25, no. 1, pp. 425–472, 1987.
- [70] P. A. R. Ade *et al.*, “Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results,” *Astron. Astrophys.*, vol. 571, p. A1, 2014.
- [71] A. Hobson, “There are no particles, there are only fields,” *Am. J. Phys.*, vol. 81, no. 3, pp. 211–223, 2013.
- [72] N. J. Nersessian, *Faraday to Einstein: Constructing meaning in scientific theories*, vol. 1. Springer Science & Business Media, 2012.
- [73] S. Weinberg, “Facing up: Science and Its Cultural Adversaries Harvard Univ,” *Press*, vol. 7, pp. 173–174, 2001.
- [74] C. W. Misner and J. A. Wheeler, “Classical physics as geometry,” *Ann. Phys. (N. Y.)*, vol. 2, no. 6, pp. 525–603, 1957.

- [75] M. Gell-Mann, R. J. Oakes, and B. Renner, “Behavior of current divergences under $SU 3 \times SU 3$,” *Phys. Rev.*, vol. 175, no. 5, p. 2195, 1968.
- [76] A. G. Lisi and J. O. Weatherall, “A geometric theory of everything,” *Sci. Am.*, vol. 303, no. 6, pp. 54–61, 2010.
- [77] J. Von Neumann and A. W. Burks, “Theory of self-reproducing automata,” *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 5, no. 1, pp. 3–14, 1966.
- [78] A. Adamatzky, *Game of life cellular automata*, vol. 1. Springer, 2010.
- [79] J. T. Lizier and M. Prokopenko, “Differentiating information transfer and causal effect,” *Eur. Phys. J. B*, vol. 73, no. 4, pp. 605–615, 2010.
- [80] G. Cambourakis, “Another paradigm for existence and life,” in *European Astrobiology Network Association 16*, 2016.
- [81] T. W. Deacon, *What is missing from theories of information*. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2010.
- [82] J. A. Wheeler, “Information, physics, quantum: the search for links,” in *Feynman and computation*, 1999, pp. 309–336.
- [83] J. A. Wheeler and K. Ford, “Geons, black holes and quantum foam: a life in physics.” American Association of Physics Teachers, 2000.
- [84] J. A. Wheeler, “Bits, quanta, meaning,” *Probl. Theor. Phys.*, pp. 121–141, 1984.
- [85] J. A. Wheeler, “‘Physics as Meaning Circuit’: Three Problems,” in *Frontiers of nonequilibrium statistical physics*, Springer, 1986, pp. 25–32.
- [86] P. Davies, “4 Universe from bit,” *Inf. Nat. Real.*, p. 65, 2010.
- [87] S. Lloyd, *Programming the universe: a quantum computer scientist takes on the cosmos*. Vintage, 2006.
- [88] M. Tegmark, *Our mathematical universe: My quest for the ultimate nature of reality*. Vintage, 2014.
- [89] A. Sloman, “What did Bateson mean when he wrote ‘information’ is ‘a difference that makes a difference’?,” *School of Computer Science, The University of Birmingham, UK*, 2018. [Online]. Available: <https://www.cs.bham.ac.uk/research/projects/cogaff/misc/information-difference.html>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [90] R. Capurro, “Past, present, and future of the concept of information,” *tripleC Commun. Capital. Crit. Open Access J. a Glob. Sustain. Inf. Soc.*, vol. 7, no. 2, pp. 125–141, 2009.
- [91] H. C. Von Baeyer, *Information: The new language of science*. Harvard University Press, 2004.
- [92] G. W. F. Hegel, G. W. F. Hegel, and W. Wallace, *The Logic of Hegel. Translated from the Encyclopaedia of the Philosophical Sciences, with Prolegomena, by William Wallace*. 1874.

- [93] E. Harrison, “Cosmology: the science of the universe.” American Association of Physics Teachers, 2001.
- [94] S. Lloyd, “Computational capacity of the universe,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 88, no. 23, p. 237901, 2002.
- [95] P. C. W. Davies and T. M. Davis, “How far can the generalized second law be generalized?,” *Found. Phys.*, vol. 32, no. 12, pp. 1877–1889, 2002.
- [96] G. W. Gibbons and S. W. Hawking, “Cosmological event horizons, thermodynamics, and particle creation,” *Phys. Rev. D*, vol. 15, no. 10, p. 2738, 1977.
- [97] J. D. Bekenstein, “Universal upper bound on the entropy-to-energy ratio for bounded systems,” *Phys. Rev. D*, vol. 23, no. 2, p. 287, 1981.
- [98] G. Hooft, “Dimensional reduction in quantum gravity,” *arXiv Prepr. gr-qc/9310026*, 1993.
- [99] L. Susskind, “The world as a hologram,” *J. Math. Phys.*, vol. 36, no. 11, pp. 6377–6396, 1995.
- [100] M. A. Parker, *Solid State and Quantum Theory for Optoelectronics*. CRC Press, 2009.
- [101] B.-O. Küppers, “Information and communication in living matter,” *Inf. Nat. Real.*, pp. 170–184, 2010.
- [102] J. O. Campbell, “Universal Darwinism as a process of Bayesian inference,” *Front. Syst. Neurosci.*, vol. 10, p. 49, 2016.
- [103] R. Nelson, “Evolutionary social science and universal Darwinism,” *J. Evol. Econ.*, vol. 16, no. 5, pp. 491–510, 2006.
- [104] R. J. Zatorre, J. L. Chen, and V. B. Penhune, “When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production,” *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 8, no. 7, pp. 547–558, 2007.
- [105] Α. Φ. Λαγόπουλος and Κ. Βοκλουνδ-Λαγοπούλου, “Θεωρία της Σημειωτικής: Η παράδοση του Ferdinand de Saussure.” Αθήνα: Πατάκη, 2016.
- [106] Ο. Ψυχοπαίδη - Φράγκου, *Η αισθητική ερμηνεία του μουσικού έργου*. Πύλη, 1979.
- [107] Σ. Τόμπρας, *Μουσική και Σημειολογία*. Γκοβόστη, 1998.
- [108] D. Lidov, *Is language a music?: Writings on musical form and signification*. Indiana University Press, 2005.
- [109] Χ. Αναγνωστοπούλου, “Η Μουσική ως Γλώσσα: Μέθοδοι συνοχής στο μουσικό και το γλωσσικό κείμενο,” in *Μουσική και Γλώσσα*, 2012.
- [110] D. Cooke, “The language of music,” 1959.
- [111] F. Lerdahl and R. S. Jackendoff, *A generative theory of tonal music*. MIT press, 1996.
- [112] J.-J. Nattiez, *Fondements d’une sémiologie de la musique*. Paris: Union Générale

d' Editions, 1975.

- [113] R. Monelle, *Linguistics and semiotics in music*. Routledge, 2014.
- [114] R. Barthes, “Éléments de sémiologie,” *Communications*, vol. 4, no. 1, pp. 91–135, 1964.
- [115] Γ. Θρασύβουλος, *Μουσική και γλώσσα. Το ιστορικό γίγνεσθαι της δυτικής μουσικής στη μελοποίηση της λειτουργίας*. Νεφέλη, 1994.
- [116] G. M. Hodgson, “Generalizing Darwinism to social evolution: Some early attempts,” *J. Econ. Issues*, vol. 39, no. 4, pp. 899–914, 2005.
- [117] M. Von Sydow, “From Darwinian metaphysics towards understanding the evolution of evolutionary mechanisms,” 2012.
- [118] J. Campbell, “Bayesian methods and universal Darwinism,” in *AIP Conference Proceedings*, 2009, vol. 1193, no. 1, pp. 40–47.
- [119] R. Dawkins, “Universal darwinism,” 1983.
- [120] H. Bernstein, H. C. Byerly, F. A. Hopf, R. A. Michod, and G. K. Vemulapalli, “The Darwinian dynamic,” *Q. Rev. Biol.*, vol. 58, no. 2, pp. 185–207, 1983.
- [121] N. Gontier, “Introduction to evolutionary epistemology, language and culture,” in *Evolutionary epistemology, language and culture*, Springer, 2006, pp. 1–29.
- [122] H. C. Plotkin, *Darwin machines and the nature of knowledge*. Harvard University Press, 1997.
- [123] M. Alkin, “The Origin of Everything, via Universal Selection, or the Preservation of Favored Systems in Contention for Existence-by DB Kelley,” *J. Sci. Explor.*, vol. 26, no. 4, p. 892, 2012.
- [124] D. C. Dennett and D. C. Dennett, *Darwin’s Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, no. 39. Simon and Schuster, 1996.
- [125] P.-Y. Oudeyer and F. Kaplan, “Language evolution as a Darwinian process: computational studies,” *Cogn. Process.*, vol. 8, no. 1, pp. 21–35, 2007.
- [126] R. Blume-Kohout and W. H. Zurek, “Quantum Darwinism: Entanglement, branches, and the emergent classicality of redundantly stored quantum information,” *Phys. Rev. A*, vol. 73, no. 6, p. 62310, 2006.
- [127] L. Smolin, *The life of the cosmos*. Oxford University Press, 1999.
- [128] R. Dawkins, “The selfish gene,” *Oxford Univ. Press*, vol. 1, p. 976, 1976.
- [129] S. Jan, “The Memetics of Music and Its Implications for Psychology,” in *Proceedings of the Sixth International Conference on Music Perception and Cognition. Keele, UK: University of Keele Department of Psychology*, 2000.
- [130] S. Jan, “Replicating sonorities: towards a memetics of music,” *J. Memetics-Evolutionary Model. Inf. Transm.*, vol. 4, no. 1, 2000.
- [131] J.-J. Nattiez, *Music and discourse: Toward a semiology of music*. Princeton University Press, 1990.

- [132] L. B. Meyer, *Style and music: Theory, history, and ideology*. University of Chicago Press, 1996.
- [133] I. Bent and W. Drabkin, “The Norton/Grove Handbooks in Music Analysis.” New York: WW Norton & Company, 1987.
- [134] A. Lynch, “Units, events and dynamics in memetic evolution,” *J. Memetics-Evolutionary Model. Inf. Transm.*, vol. 2, no. 1, pp. 5–43, 1998.
- [135] H. Schenker, *Harmonielehre*, no. 6866. Universal Edition, 1978.
- [136] E. Buyssens, *Les langages et le discours: Essai de linguistique fonctionnelle dans le cadre de la sémiologie*. Office de publicité, 1943.
- [137] D. Neagoe, “Gene, seme, meme: Vectors of arationality, rationality and irrationality,” *Econ. Bus. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 711–722, 2015.
- [138] E. Cambouropoulos and G. Widmer, “Automated motivic analysis via melodic clustering,” *J. New Music Res.*, vol. 29, no. 4, pp. 303–317, 2000.
- [139] C. Anagnostopoulou, C. Share, and D. Conklin, “Xenakis’ Keren: A computational semiotic analysis.” 2005.
- [140] C. Anagnostopoulou and E. Cambouropoulos, “Semiotic analysis and computational modelling: Two case studies on works by Debussy and Xenakis,” in *Music semiotics: A network of significations*, Routledge, 2017, pp. 129–146.
- [141] I. Deliège, “Similarity relations in listening to music: How do they come into play?,” *Music. Sci.*, vol. 11, no. 1_suppl, pp. 9–37, 2007.
- [142] A. Schoenberg, L. Stein, and G. Strang, *Fundamentals of musical composition*. Faber & Faber London, 1967.
- [143] E. H. Margulis, “Aesthetic responses to repetition in unfamiliar music,” *Empir. Stud. Arts*, vol. 31, no. 1, pp. 45–57, 2013.
- [144] D. Conklin and C. Anagnostopoulou, “Representation and Discovery of Multiple Viewpoint Patterns.” in *ICMC*, 2001, pp. 479–485.
- [145] R. B. Dannenberg and N. Hu, “Pattern discovery techniques for music audio,” *J. New Music Res.*, vol. 32, no. 2, pp. 153–163, 2003.
- [146] H. A. Simon and R. K. Sumner, “Pattern in music. In. B. Kleinmuntz,” *Form. Represent. Hum. Judgm.*, 1968.
- [147] O. Lartillot, S. Dubnov, G. Assayag, and G. Bejerano, “Automatic Modeling of Musical Style.” in *ICMC*, 2001.
- [148] E. Narmour, “Music expectation by cognitive rule-mapping,” *Music Percept. An Interdiscip. J.*, vol. 17, no. 3, pp. 329–398, 2000.
- [149] A. Smaill, G. Wiggins, and M. Harris, “Hierarchical music representation for composition and analysis,” *Comput. Hum.*, vol. 27, no. 1, pp. 7–17, 1993.
- [150] P.-Y. Rolland and J.-G. Ganascia, “Musical pattern extraction and similarity assessment,” in *Readings in music and artificial intelligence*, Routledge, 2013, pp.

125–154.

- [151] J.-L. Hsu, A. L. P. Chen, and C.-C. Liu, “Efficient repeating pattern finding in music databases,” in *Proceedings of the seventh international conference on Information and knowledge management*, 1998, pp. 281–288.
- [152] M. D. Westhead and A. Smaill, “Automatic characterisation of musical style,” in *Music education: An artificial intelligence approach*, Springer, 1994, pp. 157–170.
- [153] S. Jan, *The memetics of music: A neo-Darwinian view of musical structure and culture*. Routledge, 2017.
- [154] D. Deutsch, “Grouping mechanisms in music,” in *The psychology of music*, Elsevier, 1999, pp. 299–348.
- [155] E. Narmour, “The ‘genetic code’ of melody: Cognitive structures generated by the implication-realization model,” *Contemp. Music Rev.*, vol. 4, no. 1, pp. 45–63, 1989.
- [156] M. Adkins, “The application of memetic analysis to electroacoustic music,” 2008.
- [157] A. Field, “Simulation and reality: the new sonic objects,” in *Music, Electronic Media and Culture*, Routledge, 2016, pp. 46–65.
- [158] J. Humięcka-Jakubowska, “Electronic music in the perspective of semiotics,” *Interdiscip. Stud. Musicol.*, no. 14, pp. 259–273, 2015.
- [159] A. Çamcı, “Diegesis as a semantic paradigm for electronic music,” *eContact!*, vol. 15, 2013.
- [160] J.-L. Di Santo, “Referential Sounds, Symbolism and Semiotics,” *Ponen. Present. en el*, 2012.
- [161] G. S. Kendall, “Meaning in electroacoustic music and the everyday mind,” *Organised Sound*, vol. 15, no. 1, pp. 63–74, 2010.
- [162] W. Penfield, “The twenty-ninth Maudsley lecture: the role of the temporal cortex in certain psychical phenomena,” *J. Ment. Sci.*, vol. 101, no. 424, pp. 451–465, 1955.
- [163] F. Tong, “Out-of-body experiences: from Penfield to present,” *Trends Cogn. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 104–106, 2003.
- [164] S. C. Herholz, A. R. Halpern, and R. J. Zatorre, “Neuronal correlates of perception, imagery, and memory for familiar tunes,” *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 24, no. 6, pp. 1382–1397, 2012.
- [165] M. E. Klein and R. J. Zatorre, “Representations of invariant musical categories are decodable by pattern analysis of locally distributed BOLD responses in superior temporal and intraparietal sulci,” *Cereb. Cortex*, vol. 25, no. 7, pp. 1947–1957, 2015.
- [166] J. L. Chen, V. B. Penhune, and R. J. Zatorre, “Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain,” *Cereb. cortex*, vol. 18, no. 12, pp. 2844–2854, 2008.

- [167] S. C. Herholz and R. J. Zatorre, “Musical training as a framework for brain plasticity: behavior, function, and structure,” *Neuron*, vol. 76, no. 3, pp. 486–502, 2012.
- [168] J. D. Delius, “The nature of culture,” in *The Tinbergen Legacy*, Springer, 1991, pp. 75–99.
- [169] S. Jan, “Music, memory, and memes in the light of Calvinian neuroscience,” *Music Theory Online*, vol. 17, no. 2, 2011.
- [170] W. H. Calvin, *The cerebral code: Thinking a thought in the mosaics of the mind*. Mit Press, 1998.
- [171] G. Lakoff and M. Johnson, *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought*, vol. 28. Basic books New York, 1999.
- [172] G. Lakoff, “Author Reply: Reply to Commentaries on Language and Emotion (2015),” *Emot. Rev.*, vol. 8, no. 3, pp. 284–285, 2016.
- [173] A. R. Nath and M. S. Beauchamp, “A neural basis for interindividual differences in the McGurk effect, a multisensory speech illusion,” *Neuroimage*, vol. 59, no. 1, pp. 781–787, 2012.
- [174] S. Shimojo, “Postdiction: its implications on visual awareness, hindsight, and sense of agency,” *Front. Psychol.*, vol. 5, p. 196, 2014.
- [175] M. Bouéri and C. Kyriakakis, “Audio signal decorrelation based on a critical band approach,” in *Audio Engineering Society Convention 117*, 2004.
- [176] E. Borg, “On the neuronal organization of the acoustic middle ear reflex. A physiological and anatomical study,” *Brain Res.*, vol. 49, no. 1, pp. 101–123, 1973.
- [177] G. M. Stratton, “Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image.,” *Psychol. Rev.*, vol. 3, no. 6, p. 611, 1896.
- [178] G. Lakoff, “The contemporary theory of metaphor,” 1993.
- [179] I. Γαλαντόμος, “Η νευρωνική διάσταση της μεταφοράς.,” *Το Βήμα των Κοινωνικών Επιστημών*, vol. 14, no. 54, 2017.
- [180] I. Peretz and R. J. Zatorre, “Brain organization for music processing,” *Annu. Rev. Psychol.*, vol. 56, pp. 89–114, 2005.
- [181] K. Bakogiannis and G. Cambourakis, “Semiotics and memetics in algorithmic music composition,” *Technoetic Arts*, vol. 15, no. 2, pp. 151–161, 2017.
- [182] G. Degli Antoni, *Music and causality*. Ann Arbor, MI: Michigan Publishing, University of Michigan Library, 1982.
- [183] C. A. Petri, “Introduction to general net theory,” in *Net theory and applications*, Springer, 1980, pp. 1–19.
- [184] S. J. Muller, *Asymmetry: The foundation of information*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [185] A. Papadopoulos, “Mathematics and group theory in music,” *arXiv Prepr.*

arXiv1407.5757, 2014.

- [186] I. Ξενάκης, “Κείμενα περί Μουσικής και Αρχιτεκτονικής,” *Μάκης Σολωμός. μτφρ. Τίνα Πλυτά. Αθήνα Ψυχογιός*, 2001.
- [187] M. Tsetsos, “Causality and freedom in Xenakis: A critical examination,” in *International Symposium Iannis Xenakis. Conference Proceedings*, pp. 91–94.
- [188] N. H. Fletcher and T. D. Rossing, *The physics of musical instruments*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [189] J. G. Landels, *Music in ancient Greece and Rome*. Routledge, 2002.
- [190] S. Hagel, “Aulos and Harp: Questions of Pitch and Tonality,” *Greek Rom. Music. Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 151–171, 2013.
- [191] W. Kolneder and R. G. Pauly, *The Amadeus book of the violin: construction, history, and music*. Amadeus Pr, 1998.
- [192] M. L. West, *Ancient greek music*. Clarendon Press, 1992.
- [193] K. Schlesinger and J. F. Mountford, *The Greek Aulos*. Bouma, 1939.
- [194] S. Hagel, “Calculating auloi: the Louvre aulos scale,” *E. Hickmann/R. Eichmann (edd.), Stud. zur Musik.*, vol. 4, pp. 373–390, 2004.
- [195] S. Psaroudakes, “The auloi of Pydna,” *Stud. zur Musik.*, vol. 6, pp. 197–216, 2008.
- [196] M. Maas and J. M. Snyder, *Stringed instruments of ancient Greece*. Yale University Press, 1989.
- [197] T. D. Rossing and A. Morrison, *The science of string instruments*. Springer, 2010.
- [198] J.-P. Dalmont, B. Gazengel, J. Gilbert, and J. Kergomard, “Some aspects of tuning and clean intonation in reed instruments,” *Appl. Acoust.*, vol. 46, no. 1, pp. 19–60, 1995.
- [199] A. Chaigne and J. Kergomard, *Acoustics of musical instruments*. Springer, 2016.
- [200] S. Papetti, F. Avanzini, and F. Fontana, “Design and Application of the BiVib Audio-Tactile Piano Sample Library,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 5, p. 914, 2019.
- [201] A. Andreopoulou and A. Roginska, “Computer-Aided Estimation of the Athenian Agora Aulos Scales Based on Physical Modeling,” in *Audio Engineering Society Convention 133*, 2012.
- [202] J. H. McDermott, A. F. Schultz, E. A. Undurraga, and R. A. Godoy, “Indifference to dissonance in native Amazonians reveals cultural variation in music perception,” *Nature*, vol. 535, no. 7613, pp. 547–550, 2016.
- [203] K. Z. Gill and D. Purves, “A biological rationale for musical scales,” *PLoS One*, vol. 4, no. 12, 2009.
- [204] D. L. Bowling and D. Purves, “A biological rationale for musical consonance,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 112, no. 36, pp. 11155–11160, 2015.
- [205] J. C. Franklin, “Diatonic music in Greece: a reassessment of its antiquity,” *Mnemosyne*, vol. 55, no. 6, pp. 669–702, 2002.

- [206] A. Barbera, “The consonant eleventh and the expansion of the musical tetractys: A study of ancient Pythagoreanism,” *J. Music theory*, vol. 28, no. 2, pp. 191–223, 1984.
- [207] H. Hinrichsen, “Entropy-based tuning of musical instruments,” *Rev. Bras. Ensino Física*, vol. 34, no. 2, pp. 1–8, 2012.
- [208] E.-S. Song, Y.-J. Lim, and B. Kim, “A User-Specific Approach for Comfortable Application of Advanced 3D CAD/CAM Technique in Dental Environments Using the Harmonic Series Noise Model,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 20, p. 4307, Oct. 2019.
- [209] N. A. Clark, “Direction of mistuning, magnitude of cent deviation, and timbre as factors in musicians’ pitch discrimination in simultaneous and sequential listening conditions,” 2012.
- [210] S. Hendry, “Inharmonicity of Piano strings,” *Univ. Edinburgh Masters Acoust. Music Technol. Haettu osoitteesta <http://www.simonhendry.co.uk/wp/wp-content/uploads/2012/08/inharmonicity.pdf>*, 2008.
- [211] F. Rigaud, B. David, and L. Daudet, “A parametric model and estimation techniques for the inharmonicity and tuning of the piano,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 133, no. 5, pp. 3107–3118, 2013.
- [212] S. Hagel, “Better Understanding the Louvre Aulos,” *Stud. zur Musik. 9. Orient-Archäologie 33*, pp. 131–142, 2014.
- [213] J. H. McDermott, A. J. Lehr, and A. J. Oxenham, “Individual differences reveal the basis of consonance,” *Curr. Biol.*, vol. 20, no. 11, pp. 1035–1041, 2010.
- [214] C. J. Plack, “Musical consonance: The importance of harmonicity,” *Curr. Biol.*, vol. 20, no. 11, pp. R476–R478, 2010.
- [215] H. Hinrichsen, “Revising the musical equal temperament,” *Rev. Bras. Ensino Física*, vol. 38, no. 1, 2016.
- [216] B. Leclercq-Neveu, “Marsyas, le martyr de l’aulos,” *Métis. Anthropol. des mondes grecs anciens*, vol. 4, no. 2, pp. 251–268, 1989.
- [217] S. Psaroudakēs, “The Daphnē Aulos,” *Greek Rom. Music. Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 93–121, 2013.
- [218] J. G. Landels, “A newly discovered aulos,” *Annu. Br. Sch. Athens*, vol. 63, pp. 231–238, 1968.
- [219] A. Bellia, “The Virtual Reconstruction of an Ancient Musical Instrument : The Aulos of Selinus,” vol. 2015, no. October, pp. 20–22, 2015.
- [220] S. Psaroudakes, “The aulos of Argitheia,” *Orient-Archäologie*, vol. 10, pp. 335–366, 2002.
- [221] A. Bélis, “L’aulos phrygien,” *Rev. archéologique*, pp. 21–40, 1986.
- [222] J. G. Landels, “The brauron aulos,” *Annu. Br. Sch. Athens*, vol. 58, pp. 116–119, 1963.

- [223] J. Wolfe, “The Acoustics of Woodwind Musical Instruments,” vol. 14, no. 1, pp. 50–56, 2018.
- [224] C. J. Nederveen, “Acoustical aspects of woodwind instruments,” 1969.
- [225] A. H. Benade, “On the mathematical theory of woodwind finger holes,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 32, no. 12, pp. 1591–1608, 1960.
- [226] M. Caetano, G. Kafentzis, A. Mouchtaris, and Y. Stylianou, “Full-band quasi-harmonic analysis and synthesis of musical instrument sounds with adaptive sinusoids,” *Appl. Sci.*, vol. 6, no. 5, p. 127, 2016.
- [227] K. Werner and J. Abel, “Modal processor effects inspired by hammond tonewheel organs,” *Appl. Sci.*, vol. 6, no. 7, p. 185, 2016.
- [228] N. H. Fletcher, “Nonlinear theory of musical wind instruments,” *Appl. Acoust.*, vol. 30, no. 2–3, pp. 85–115, 1990.
- [229] K. Holz, “The Acoustics of the Clarinet: An Observation of Harmonics, Frequencies, Phases, Complex Specific Acoustic Impedance, and Resonance.”
- [230] M. Barthet, P. Guillemain, R. Kronland-Martinet, and S. Ystad, “On the Relative Influence of even and odd harmonics in Clarinet Timbre,” in *ICMC*, 2005.
- [231] A. Ruggiero, M. C. De Simone, D. Russo, and D. Guida, “Sound pressure measurement of orchestral instruments in the concert hall of a public school,” *Int. J. Circuits Syst. Signal Process*, vol. 10, pp. 75–81, 2016.
- [232] T. D. Rossing, F. R. Moore, and P. A. Wheeler, *The science of sound*. Pearson, 2014.
- [233] R. Rasch, “Tuning and temperament,” *Cambridge Hist. West. Music theory*, pp. 193–222, 2002.
- [234] M. Long, *Architectural acoustics*. Elsevier, 2005.
- [235] L. Brillouin, “The negentropy principle of information,” *J. Appl. Phys.*, vol. 24, no. 9, pp. 1152–1163, 1953.
- [236] S. W. Hawking, “Arrow of time in cosmology,” *Phys. Rev. D*, vol. 32, no. 10, p. 2489, 1985.
- [237] S. Hawking, *To Σύμπαν σε ένα καρυδότσουφλο*. Κάτοπτρο, 2001.
- [238] B. J. Carr and S. B. Giddings, “Quantum black holes,” *Sci. Am.*, vol. 292, no. 5, pp. 48–55, 2005.
- [239] M. Tribus and E. C. McIrvine, “Energy and information,” *Sci. Am.*, vol. 225, no. 3, pp. 179–190, 1971.
- [240] E. Smith and H. J. Morowitz, *The origin and nature of life on earth: the emergence of the fourth geosphere*. Cambridge University Press, 2016.
- [241] P. Davies and N. H. Gregersen, “Introduction: Does information matter?,” in *Information and the Nature of Reality: From Physics to Metaphysics*, Cambridge University Press, 2010, pp. 1–10.

- [242] S. Van den Bergh, “The early history of dark matter,” *Publ. Astron. Soc. Pacific*, vol. 111, no. 760, p. 657, 1999.
- [243] A. Einstein, “Maxwell’s influence on the development of the conception of physical reality,” *James Clerk Maxwell A Commem.*, vol. 1831, pp. 66–74, 1931.
- [244] S. Weinberg, *Dreams of a Final Theory: The Search for The Fundamental Laws of Nature*. Vintage, 1993.
- [245] R. Mills, *Space, time, and quanta: an introduction to contemporary physics*. WH Freeman, 1994.
- [246] F. Wilczek, “Mass without mass. I: Most of matter,” *Phys. Today*, vol. 52, pp. 11–13, 1999.
- [247] M. Redhead, “More ado about nothing,” *Found. Phys.*, vol. 25, no. 1, pp. 123–137, 1995.
- [248] A. Zee, *Quantum field theory in a nutshell*, vol. 7. Princeton university press, 2010.
- [249] R. Landauer, “Wanted: a physically possible theory of physics,” *IEEE Spectr.*, vol. 4, no. 9, pp. 105–109, 1967.
- [250] R. Landauer, “Computation and physics: Wheeler’s meaning circuit?,” *Found. Phys.*, vol. 16, no. 6, pp. 551–564, 1986.
- [251] R. Landauer, “The physical nature of information,” *Phys. Lett. A*, vol. 217, no. 4–5, pp. 188–193, 1996.
- [252] C. H. Bennett, “Notes on Landauer’s principle, reversible computation, and Maxwell’s Demon,” *Stud. Hist. Philos. Sci. Part B Stud. Hist. Philos. Mod. Phys.*, vol. 34, no. 3, pp. 501–510, 2003.
- [253] R. L. Amoroso, “Derivation of the fundamental equation of consciousness,” *Part I, Bound. Cond. Noetic J.*, vol. 3, no. 1, pp. 91–99, 2000.
- [254] D. J. Fixsen, “The temperature of the cosmic microwave background,” *Astrophys. J.*, vol. 707, no. 2, p. 916, 2009.
- [255] A. H. Guth, *The inflationary universe: the quest for a new theory of cosmic origins*. Random House, 1998.
- [256] V. A. Stefan, *Thus spoke Einstein on life and living: Wisdom of Albert Einstein in the Context*. Stefan University Press, 2011.
- [257] M. Peshkin, “The Aharonov-Bohm effect Part one: Theory,” in *The Aharonov-Bohm Effect*, Springer, 1989, pp. 1–34.
- [258] S. J. Gould, C. Sagan, and M. L. Minsky, *Life in the Universe*, Scientific. W H Freeman & Co, 1995.
- [259] C. Adami, “The use of information theory in evolutionary biology,” *arXiv Prepr. arXiv1112.3867*, 2011.
- [260] H. P. Yockey, *Information theory, evolution, and the origin of life*. Cambridge

University Press, 2005.

- [261] J. B. Plotkin and M. A. Nowak, “Language evolution and information theory,” *J. Theor. Biol.*, vol. 205, no. 1, pp. 147–159, 2000.
- [262] J. P. Hume, “The history of the Dodo *Raphus cucullatus* and the penguin of Mauritius,” *Hist. Biol.*, vol. 18, no. 2, pp. 69–93, 2006.
- [263] R. Barthes, “Mythologies. 1957,” *Trans. Annette Lavers. New York Hill Wang*, pp. 302–306, 1972.
- [264] L. Hjelmslev and F. J. Whitfield, “Prolegomena to a Theory of Language,” 1953.
- [265] D. Chandler, “Semiotics for beginners.” Daniel Chandler [Aberystwyth, Wales?], 1994.