



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΕΦΑΝΟΣ-ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ

«ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΤΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΝΕΥΡΟΑΙΣΘΗΤΙΚΗΣ»

ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:
ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΘΕΟΛΟΓΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΘΕΟΛΟΓΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ
ΓΕΩΡΓΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ, ΕΚΠΑ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, Ε.Δ.Ι.Π., ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΕΦΑΝΟΣ-ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ

«ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΤΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ:
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΝΕΥΡΟΑΙΣΘΗΤΙΚΗΣ»

ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ:
ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΘΕΟΛΟΓΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΘΕΟΛΟΓΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ
ΓΕΩΡΓΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ, ΕΚΠΑ
ΣΤΕΛΙΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, Ε.Δ.Ι.Π., ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ την κα. Αναστασία Γεωργάκη για την πολύτιμη καθοδήγησή της στην εκπόνηση της διπλωματικής.

.....
Στέφανος-Θεόδωρος Βασιλάκης

© (2022) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 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 το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σ' αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Εισαγωγή.....	7
1. Από τη Φιλοσοφία του ήχου στη Νευροαισθητική.....	9
1.1 Η μελέτη του ήχου από την Αρχαιότητα στην Αναγέννηση.....	9
1.1.1 Από το Πυθαγόρειο σύστημα στην Αριστοτελική θεώρηση του ήχου.....	10
1.1.2 Η πρώιμη φαινομενολογική προσέγγιση του Αριστόξενου.....	13
1.1.3 Ο θεολογικός μυστικισμός των Λόγιων του Μεσαίωνα.....	13
1.1.4 Τα πρώτα στάδια της Ακουστικής στην Αναγέννηση.....	15
1.2 Η μελέτη του ήχου από τον Διαφωτισμό στον 19ο αιώνα.....	16
1.2.1 Η θεμελίωση της Ακουστικής ως επιστήμης στον 18ο αιώνα.....	17
1.2.2 Η γέννηση της Αισθητικής Φιλοσοφίας.....	18
1.2.3 Η πρώιμη νευροαισθητική προσέγγιση των Βρετανών εμπειριστών.....	18
1.2.3 Ο Ρομαντισμός και η κατάρρευση των προτύπων.....	19
1.2.4 Η εισαγωγή της Ανάλυσης Fourier και ο Ακουστικός Νόμος του Ohm.....	20
1.2.5 Ο von Helmholtz και η εδραίωση της Ψυχοακουστικής.....	21
1.3 Η ανάπτυξη της Ψυχοακουστικής και της Φιλοσοφίας του ήχου στον 20ο αιώνα.....	22
1.3.1 Φαινομενολογικές προσεγγίσεις της αντίληψης του ήχου.....	23
1.3.2 Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στη μελέτη του ήχου στα Bell Laboratories.....	26
1.3.3 Η γέννηση της νευροεπιστημονικής θεώρησης του ήχου.....	27
1.4 Η διεπιστημονική θεώρηση του ήχου στον 21ο αιώνα.....	27
1.4.1 Το πεδίο της Νευροαισθητικής μελέτης του ήχου.....	28
2. Επιστημολογικές διαστάσεις της θεώρησης του ήχου.....	31
2.1 Μουσική Ακουστική, Ψυχοακουστική και Ακουστική χώρων.....	31
2.1.1 Μουσική Ακουστική και αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.....	32
2.1.1.1 Η συχνότητα του ήχου.....	33
2.1.1.2 Η ένταση του ήχου.....	34
2.1.1.2.α Η Στάθμη Ηχητικής Πίεσης.....	35
2.1.1.3 Η διάρκεια του ήχου.....	36
2.1.1.3.α Δυναμική περιβάλλουσα του ήχου.....	36
2.1.1.4 Το φάσμα του ήχου και εφαρμογές της μουσικής ακουστικής.....	37
2.1.2 Ψυχοακουστική και υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.....	40

2.1.2.1 Η υποκειμενική διάσταση της έντασης (Ακουστότητα).....	40
2.1.2.2 Η αντίληψη του τόνου και της τονικότητας.....	41
Η αντίληψη της τονικότητας των ήχων του περιβάλλοντος.....	42
Θεωρήσεις του παράδοξου της χαμένης θεμελιώδους.....	43
Το φαινόμενο των συνδυαστικών τόνων.....	45
2.1.2.3 Το ηχόχρωμα και η νευροαισθητική του θεώρηση.....	45
2.1.3 Ακουστική χώρων.....	47
2.2 Η νευροφυσιολογία του ήχου.....	48
2.2.1 Τα ηχητικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φωνής.....	48
2.2.2 Η δομή του περιφερειακού ακουστικού συστήματος.....	50
2.2.3 Μέθοδοι αναπαράστασης του νευρικού ακουστικού συστήματος.....	54
2.2.4 Το νευρικό ακουστικό σύστημα και η γνωστική του λειτουργία.....	57
2.3 Ψυχοφυσιολογικές αντιδράσεις του ανθρώπου στον ήχο.....	58
3. Αισθητικές και Νευροαισθητικές προσεγγίσεις στη θεώρηση του ήχου.....	60
3.1 Θεωρήσεις της αισθητηριακής και μουσικής σύμφωνιας/διαφωνίας	60
3.1.1 Η φυσική θεωρία των διακροτημάτων του Helmholtz.....	60
3.1.2 Η φυσιολογική θεωρία των Κρίσιμων Ζωνών.....	62
3.1.3 Η θεώρηση της εξελικτικής αισθητικής.....	63
3.1.3.α Ευρήματα της Παλαιοανθρωπολογίας.....	65
3.1.3.β Βιολογικές και Νευροαισθητικές βάσεις της μουσικής σύμφωνιας.....	66
3.2 Η περίπτωση των απωθητικών ήχων.....	70
3.2.1 Η περίπτωση του θορύβου.....	71
3.2.2 Φυσιολογικές θεωρήσεις του φαινομένου των ανατριχιαστικών ήχων.....	72
Επίλογος – Συμπεράσματα.....	75
Βιβλιογραφία – Παραπομπές.....	79

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια επισκόπηση των διαφορετικών διαστάσεων του φαινομένου του ήχου (συμφωνία/διαφωνία, απωθητικοί ήχοι, νευροφυσιολογικές αντιδράσεις στον ήχο) όπως περιγράφονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία μεταξύ των οποίων η Μουσική Ακουστική, η Φιλοσοφία, η Ψυχοακουστική, η Νευροφυσιολογία και η Νευροεπιστήμη. Παρακολουθώντας την εξέλιξη της γνώσης σχετικά με τον ήχο, τα χαρακτηριστικά του αλλά και την πρόσληψή του, η εργασία επικεντρώνεται στην Νευροαισθητική θεώρηση του ήχου. Το νεοσύστατο πεδίο της Νευροαισθητικής συνιστά ένα διεπιστημονικό πεδίο έρευνας που αντλεί γνώση από όλα τα παραπάνω πεδία και αναζητά τις απαντήσεις για σχετικά με τις διάφορες πτυχές της αντίληψης του ήχου στην γνωστική λειτουργία του εγκεφάλου.

Λέξεις-κλειδί.

Μουσική Ακουστική, Ψυχοακουστική, Αντίληψη του ήχου, Νευροεπιστήμες, Νευροαισθητική, Αρμονία, Δυσαρμονία, Απωθητικοί ήχοι

Abstract

This thesis is an overview on the different dimensions of sound (consonance/dissonance, aversive sounds, neurophysiological responses to sound) as described by different scientific fields including Music Acoustics, Philosophy, Psychoacoustics, Neurophysiology and Neuroscience. Following the evolution of knowledge concerning sound, its characteristics and its reception, this paper focuses on the Neuroaesthetic consideration of sound. The newly established field of Neuroaesthetics is an interdisciplinary research area that draws knowledge from the aforementioned scientific fields and seeks answers about the various aspects of sound perception in the brain's cognitive function.

Keywords.

Musical Acoustics, Psychoacoustics, Perception of sound, Neuroscience, Neuroaesthetics, Consonance, Dissonance, Aversive sounds

Εισαγωγή

Ο ήχος υπήρξε αντικείμενο μελέτης από πολύ νωρίς στη δυτική σκέψη. Αν και το φαινόμενο του ήχου διερευνήθηκε από πλήθος μελετητών, μόνο πολύ πρόσφατα αποκτήσαμε τα εργαλεία εκείνα που μας δίνουν ικανοποιητικές απαντήσεις για τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος προσλαμβάνει τον ήχο, τον αξιολογεί και επηρεάζεται από αυτόν. Αυτό εν μέρει οφείλεται στο ότι στο φαινόμενο του ήχου εμπλέκεται η γνωστική λειτουργία του εγκεφάλου η οποία υπήρξε αχαρτογράφητη μέχρι τον 21ο αιώνα και εν πολλοίς παραμένει άγνωστη.

Ωστόσο, αναλόγως με τα μέσα της κάθε εποχής η επιστήμη προσέγγισε τον ήχο είτε ως φυσικό φαινόμενο, είτε ως αντικείμενο της ανθρώπινης αίσθησης, είτε ως πληροφορία που υπόκειται επεξεργασία στον εγκέφαλο. Έτσι, η μελέτη της αντίληψης του ήχου αποτελεί ένα σημείο συνάντησης εννοιών και μεθόδων διαφορετικών επιστημών και πεδίων έρευνας. Η πλήρης κατανόηση του φαινομένου της αντίληψης, και επομένως της αντίληψης του ήχου, απαιτεί τη βοήθεια της φιλοσοφίας, της ψυχολογίας, της φυσιολογίας, της νευροεπιστήμης, της εξελικτικής βιολογίας, της παλαιοανθρωπολογίας κ.ο.κ. Έτσι, στην μελέτη της αντίληψης του ήχου μπορεί κανείς να διακρίνει μια πορεία που περνάει από όλα τα παραπάνω πεδία έρευνας και που το κάθε ένα προσφέρει με διαφορετικό τρόπο στη συνολική εικόνα που διαθέτουμε σήμερα.

Σύμφωνα με μια σύγχρονη θεώρηση είναι δύσκολο, αν όχι ανώφελο, να διαχωρίσεις τον ήχο από τον λήπτη του ηχητικού ερεθίσματος και εξίσου δύσκολο να τον διαχωρίσεις από την αισθητική του αξιολόγηση. Με άλλα λόγια ο ήχος πάντοτε μεταφέρει ένα μήνυμα και πάντοτε προϋποθέτει έναν δέκτη ο οποίος αξιολογεί την προσλαμβανόμενη πληροφορία. Από την άλλη, η δυναμική αυτής της αλληλεπίδρασης μεταξύ ήχου και ανθρώπου ήταν και ο λόγος που κέντρισε το ενδιαφέρον των μελετητών εξ αρχής. Ειδικότερα, το ερώτημα σχετικά με το γιατί κάτι ακούγεται όμορφο ή άσχημο είναι αδύνατο να απαντηθεί αν δεν λάβει κανείς υπόψη του αυτή την αλληλεπίδραση.

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιαστούν και να αναπτυχθούν οι διαφορετικές αυτές προσεγγίσεις στη μελέτη του ήχου ώστε να διαφανεί τελικά ένα σημείο σύγκλισής τους, εκείνο της υποκειμενικότητας της εμπειρίας ως διεργασίας του εγκεφάλου. Ο σκοπός αυτός απαιτεί σε μεθοδολογικό επίπεδο να εξεταστούν ιστορικά οι θεωρίες που τελικά διαμόρφωσαν το πλαίσιο για αυτό το σημείο σύγκλισης αλλά και να εξεταστούν ως προς τον τρόπο με τον οποίο η μία προσέγγιση συμπληρώνει, επαληθεύει ή απορρίπτει την άλλη.

Ακολουθώντας αυτή τη μεθοδολογία, η εργασία είναι χωρισμένη σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται ιστορικά η πορεία της μελέτης της αντίληψης του ήχου στο Δυτικό κόσμο. Ξεκινώντας από την πρώτη προσπάθεια να συστηματοποιηθεί η μελέτη του

φαινομένου του ήχου και της αισθητικής του δυνατότητας από τον Πυθαγόρα και τον Αριστοτέλη, αναπτύσσονται τα διαφορετικά στάδια της εξέλιξης των επιστημών και ψευδοεπιστημών του ήχου, όπως για παράδειγμα η Ακουστική και η Ψυχοακουστική αντιστοίχως, μέχρι και τον 21ο αιώνα. Από τη θεμελίωση της Ακουστικής και της Μουσικής Ακουστικής περνάμε στη θεώρηση του υποκειμενικού χαρακτήρα του ήχου από το πεδίο της Ψυχοακουστικής και της Φαινομενολογίας και οδηγούμαστε στη διερεύνηση της γνωστικής λειτουργίας του εγκεφάλου και την εξέταση της αντίληψης του ήχου από τη Νευροεπιστήμη.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται οι επιστημολογικές διαστάσεις του ήχου ως αποτέλεσμα των παραπάνω προσεγγίσεων και θεωριών. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του ηχητικού φαινομένου από τη σκοπιά της Ακουστικής, της Μουσικής Ακουστικής, της Ψυχοακουστικής, της Φυσιολογίας και της Νευροεπιστήμης.

Στο τρίτο μέρος παρουσιάζονται οι διαφορετικές θεωρίες σχετικά με την αισθητική αξιολόγηση του ήχου. Η αισθητική αξιολόγηση αφορά τόσο τους μουσικούς ήχους όσο και εκείνους τους ήχους του περιβάλλοντος που είναι απωθητικοί για τον άνθρωπο. Ως προς την περίπτωση των μουσικών ήχων δίνεται βαρύτητα στις διαφορετικές θεωρίες για τη συμφωνία και διαφωνία των ήχων η οποία θεωρείται παραδοσιακά η βασικότερη ιδιότητα της αισθητικής τους ταυτότητας. Για τους απωθητικούς ήχους παρουσιάζονται οι διαφορετικές έρευνες που συνδέουν την αρνητική τους επίδραση τόσο με τη φυσιολογία του ανθρώπου όσο και με τη βιολογική πληροφορία που μεταφέρουν στον εγκέφαλο.

1. Από τη Φιλοσοφία του ήχου στη Νευροαισθητική

Στη μελέτη της αντίληψης του ήχου και άρα της αισθητικής αξιολόγησής του από τον άνθρωπο στράφηκαν διανοητές και επιστήμονες διαφορετικών, και πολύ συχνά αντικρουόμενων, καταβολών ανά τους αιώνες. Κάθε ένας από αυτό το ετερογενές πλήθος έστρεψε την προσοχή σε διαφορετικές πτυχές του φαινομένου του ήχου ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες που προσέφερε η μέχρι τότε συσσωρευμένη γνώση. Από τη θεολογική φιλοσοφία των αρχαίων στην εξελικτική αισθητική και από τη Μουσική Ακουστική στη Νευροαισθητική διανύει κανείς τη διαδρομή της Ιστορίας ολόκληρης της ανθρώπινης επιστήμης.

1.1 Η μελέτη του ήχου από την Αρχαιότητα στην Αναγέννηση

Από την αρχή της θεωρητικής σκέψης, ο άνθρωπος αναζητούσε την ολότητα στις διανοητικές κατασκευές του προσπαθώντας να εντάξει κάθε έκφανση του φυσικού κόσμου σε μια εξαντλητική Κοσμολογία. Γι' αυτό το λόγο, στη διάρκεια της Ιστορίας, τα θεολογικά συστήματα ανά τον πλανήτη είναι διαμορφωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούν κατά κάποιον τρόπο μια εγκυκλοπαίδεια του Κόσμου. Έτσι, σε κάθε τέτοιο σύστημα μπορεί κανείς να εντοπίσει στοιχεία για τη γέννηση της μουσικής ή την κοσμογονική δύναμη των ήχων. Η τελευταία ενδεχομένως αποτελεί συνέπεια της εμπειρίας των προϊστορικών ανθρώπων καθώς έρχονταν σε επαφή με ακραία φυσικά φαινόμενα τα οποία εκδηλώνονταν πρωτίστως μέσω του ήχου: για παράδειγμα το υποχθόνιο βουητό δευτερόλεπτα πριν την επέλαση ενός μεγάλου σεισμού ή τους εκκωφαντικούς κρότους μετά τις αστραπές που συνοδεύουν μια κατακλυσμική καταιγίδα. Ο μυστικισμός που πηγάζει από το φαινόμενο του ήχου και την πρόσληψη του –καθώς θα δούμε ότι αυτός υπόκειται περαιτέρω επεξεργασία στον ανθρώπινο εγκέφαλο με αποτέλεσμα η εντύπωσή του μόνον να αυξάνεται– συνδέεται με θεμελιώδεις έννοιες της ψυχολογίας και της συνείδησης του ανθρώπου, όπως για παράδειγμα η διάκριση του εξωτερικού και του εσωτερικού. Ο ήχος προέρχεται από το περιβάλλον αλλά γίνεται αντιληπτός στη συνείδηση, άρα έχει τη διάσταση του εξωτερικού ως διαφοροποίηση από τον εαυτό και την διάσταση του εσωτερικού εφόσον η ανθρώπινη συνείδηση ταυτίζεται με την εαυτότητα [Lindenlauf, 2005, 1].

Από την αρχαιότητα μέχρι και την Αναγέννηση, η μελέτη του ήχου και της μουσικής αποτέλεσε αντικείμενο της φιλοσοφίας –και άρα της επιστήμης, μιας και τα δύο πεδία ήταν, για πολλούς αιώνες, αλληλένδετα– δηλαδή πριν την εισαγωγή της πειραματικής μεθόδου στον Διαφωτισμό. Σε μια περίοδο όπου η φιλοσοφία, η φυσική και ο μυστικισμός ήταν τρόπων τινά ένα

αδιαίρετο πεδίο κάτι τέτοιο ήταν αναπόφευκτο. Το ερώτημα για το τι αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος ως αρμονικό και τι ως δυσαρμονικό εκκινεί από εδώ και σε μια περίοδο όπου οι μετρήσεις ήταν αδύνατες η απόκτηση της γνώσης αποτέλεσε αντικείμενο της διαίσθησης.

1.1.1 Από το Πυθαγόρειο σύστημα στην Αριστοτελική θεώρηση του ήχου

Οι πρώτες γνωστές απόπειρες του δυτικού πολιτισμού για τη διερεύνηση του φαινομένου του ήχου, και κυρίως της ιδιότητάς του να ακούγεται σύμφωνος (consonant) ή διάφωνος (dissonant), έγιναν από τον Πυθαγόρα τον Σάμιο (580 π.Χ. – 496 π.Χ.) ο οποίος επινόησε και μελέτησε το μονόχορδο, ένα πειραματικό μουσικό όργανο με μια χορδή μεταβλητού μήκους. Η μελέτη των αριθμών και των αναλογιών τους θα αποτελούσε το πρώτο εργαλείο για τη διερεύνηση του ήχου και κατ' ουσίαν θα παρέμενε η κυρίαρχη μέχρι την εμφάνιση της ψυχοφυσικής. Ο Πυθαγόρας διερωτώμενος για τον βαθμό συμφωνίας των διαδοχικών ήχων, δηλαδή των διαστημάτων, μια και η μουσική της εποχής ήταν μονοτονική, διαμόρφωσε μια θεωρία στην οποία όρισε τα διαστήματα που ο άνθρωπος εκλαμβάνει ως απολύτως σύμφωνα διαιρώντας τη χορδή του οργάνου σε κλάσματα των πρώτων τεσσάρων φυσικών αριθμών. Έτσι, βάσει αυτού του συστήματος τα σύμφωνα διαστήματα συνέπιπταν με τους λόγους 2:1 (οκτάβα), 3:2 (καθαρή πέμπτη) και 4:3 (καθαρή τέταρτη). Το σύστημα αυτό των πρώτων τεσσάρων αριθμών ονομαζόταν τετρακτύς και ήταν ο πυρήνας του πυθαγόρειου συστήματος. Επίσης, επινόησε και υπολόγισε τον τόνο τον οποίο όρισε ως την απόσταση μεταξύ του διαστήματος 4ης και 5ης, ίση με 9/8. Η πίστη του ότι τα πάντα στον κόσμο διέπονται από την αρμονία των αριθμών τον οδήγησε να συμπεράνει ότι αυτές οι αρμονικές μουσικές σχέσεις θα έπρεπε να διέπουν και τα υπόλοιπα φαινόμενα του κόσμου μιας και ο κόσμος, όχι απλώς περιγράφεται αλλά, κατ' ουσίαν συνίσταται από αριθμούς [Godwin, 1992].

Έτσι, η τάξη και η κίνηση των ουράνιων σωμάτων, όπως τη διδάχτηκε στη Βαβυλώνα και την Αίγυπτο όπου άκμασε η αστρονομία, θα μπορούσε να παράγει μουσική αφού οι σχετικές αποστάσεις των σωμάτων του πλανητικού συστήματος είναι και οι ίδιες κλάσματα αριθμών σε μεγαλύτερη κλίμακα. Υποθέτοντας μία πλήρη απεικόνιση μεταξύ του χώρου των διαστημάτων της μουσικής και εκείνου των αποστάσεων των πλανητών, επινόησε αυτό που έμεινε γνωστό ως η Μουσική των Σφαιρών, τον ήχο που παράγουν τα ουράνια σώματα, δηλαδή ο Κόσμος, καθώς εκτελούν τις τροχιές τους στο ουράνιο θόλο [James, 1993, 31].

Η ίδια αντιστοιχία άλλωστε, σύμφωνα με τον Πυθαγόρα, θα έπρεπε να υπάρχει μεταξύ της μουσικής και του ανθρώπινου οργανισμού ιδωμένου ως ένα μουσικό όργανο που διέπεται από τις ίδιες αριθμητικές αναλογίες. Κάθε ανθρώπινος οργανισμός παράγει μια μουσική που δεν μπορεί να

γίνει αντιληπτή από τα αισθητηριακά όργανα και προκύπτει από τον αρμονικό συντονισμό σώματος/ψυχής. Η αρμονικότητα ή η δυσαρμονικότητα αυτού του συντονισμού ήταν δείκτης για τη σωματική και ψυχική κατάσταση του ανθρώπου. Έτσι, η διαταραχή της αρμονίας ήταν για τον Πυθαγόρα πηγή ασθενειών της ψυχής και του σώματος. [Godwin, 1992, 4] Σύμφωνα με αυτές τις πεποιθήσεις, ο Πυθαγόρας, ο οποίος κατ' ουσίαν θεωρούσε τον εαυτό του θεραπευτή, χρησιμοποιούσε τη μουσική για ιαματικούς σκοπούς θεωρώντας την ικανή να θεραπεύσει μέσω της αρμονίας οποιαδήποτε ασθένεια. Σε αυτή τη διαπίστωση των ωθούσε η παρατηρούμενη δυνατότητα συγκεκριμένων αλληλουχιών φθόγγων, δηλαδή κλιμάκων, αλλά και ρυθμών να προκαλούν στον άνθρωπο συγκεκριμένες συναισθηματικές αντιδράσεις. Στοιχεία από τη βιογραφία του Πυθαγόρα, η οποία γράφτηκε από τον Ιάμβλιχο οκτώ αιώνες μετά, μαρτυρούν ότι ο Πυθαγόρας και οι σύγχρονοί του γνώριζαν πώς να χρησιμοποιούν συγκεκριμένες κλίμακες και ρυθμούς, ώστε να προκαλούν π.χ. χαλάρωση ή βίαια αισθήματα, κάτι που αποτελεί κοινή γνώση μέχρι και σήμερα [James, 1993, 32].

Άλλωστε, οι ψυχοδραστικές ιδιότητες του ήχου χρησιμοποιήθηκαν από το σύνολο των αρχαίων πολιτισμών, όπως δείχνουν και οι μελέτες σε φυλές που εξακολουθούν να ζουν σε συνθήκες παρόμοιες με εκείνες των προγόνων του σύγχρονου ανθρώπου. Η χρήση της μουσικής για την πρόκληση καταστάσεων έκστασης ή για την εμψύχωση πριν από την μάχη αποτελούν εφαρμογή αυτών των ψυχοδραστικών ιδιοτήτων. Αναλόγως, στο πυθαγόρειο σύστημα, η μουσική ήταν θεμελιώδης πτυχή της καθημερινότητας: οι μαθητές για παράδειγμα, στο τέλος της μέρας, χρησιμοποιούσαν τις ψυχοδραστικές ιδιότητες της μουσικής, μέσω συγκεκριμένων ύμνων ή ωδών, ώστε να καθαρίσουν το μυαλό τους από τους θορύβους της ημέρας. Οι ύμνοι των σπονδών συγκεκριμένα θεωρούνταν ότι μπορούν να προσφέρουν έναν ήσυχο ύπνο και ήρεμα όνειρα. Αντιστοίχως, υπήρχαν μελωδίες για το ξεκίνημα της μέρας κ.ό.κ. [James, 1993, 32] Με το πυθαγόρειο οικοδόμημα σκέψης έγινε η πρώτη προσπάθεια η γνώση αυτή να συστηματοποιηθεί και εκφραστεί μέσω των μαθηματικών. Το έργο του Πυθαγόρα συνέχισαν πολλοί πυθαγόρειοι φιλόσοφοι που μελετούσαν τον ήχο όπως ο Αρχύτας ο Ταραντίνος (428 π.Χ. - 347 π.Χ.).

Ο ήχος ως φυσικό φαινόμενο και ως αντικείμενο της αίσθησης μελετήθηκε και από τους φιλόσοφους της Αρχαίας Αθήνας, οι οποίοι έδειξαν επίσης ενδιαφέρον για τη δυνατότητα της μουσικής να επηρεάζει τα ανθρώπινα συναισθήματα και ψυχική κατάσταση. Ο Πλάτωνας (427 π.Χ. - 347 π.Χ.) ασπαζόταν το πυθαγορισμό όπως τον διδάχτηκε από τον Αρχύτα με τον οποίο τον συνέδεε στενή φιλία. Στον *Τίμαιο* αναφερόμενος στον ήχο υιοθέτησε την στάση ότι ο ήχος είναι αποτέλεσμα της *πληγής*, δηλαδή του χτυπήματος, του αέρα, το οποίο χτύπημα μεταφέρεται στο αυτί του ακροατή και από εκεί στον εγκέφαλο και το αίμα για να καταλήξει στην ψυχή. [Barker, 1989]

Ως προς τη μουσική ο Πλάτωνας διατηρούσε τη συντηρητική στάση των Πυθαγορείων. Η σημασία της επίδρασης της μουσικής φαίνεται και στο έβδομο βιβλίο της *Πολιτείας* όπου διατυπώνει τη θέση ότι θα πρέπει να ελέγχεται από το Κράτος εξαιτίας της δυνατότητας της να επηρεάζει την ψυχή. [Stamou, 2002] Έτσι, για τον Πλάτωνα η μουσική διαπαιδαγώγηση θα έπρεπε να είναι προσεκτικά ρυθμισμένη κατά την εκπαίδευση των νέων εξαιτίας ακριβώς της σημαντικής επίδρασης που έχει στη διαμόρφωση του *ήθους*. Ταυτόχρονα, σύμφωνα με τη διαδεδομένη θεώρηση της εποχής η μουσική δεν νοούνταν αποκομμένη από τον λόγο που τη συνόδευε και ήταν ακριβώς ο λόγος που θα συνέβαλε στη διαμόρφωση του *ήθους*. Για αυτό τον λόγο ο Πλάτωνας δεν αποδεχόταν την αξία χρήσης της ορχηστρικής μουσικής διότι, ναι μεν προσέφερε μια απόλαυση για τις αισθήσεις, όμως τα στοιχεία του ρυθμού και της αρμονίας από μόνα τους δεν ήταν ευεργετικά για την εξύψωση του πνεύματος του ανθρώπου [Stamou, 2002].

Ο Αριστοτέλης (384 π.Χ. - 322 π.Χ.) ήταν εκείνος που έδωσε μια πρώιμη φυσική περιγραφή του ήχου ως κύματος διατυπώνοντας τη θέση ότι ο ήχος είναι αποτέλεσμα της κίνησης των μορίων του αέρα και ότι ο ήχος μεταδίδεται μέσω ενός μέσου θέτοντας έτσι το βασικό πλαίσιο της Ακουστικής επιστήμης. Ωστόσο, πέρα από τη φυσική του διάσταση του ήχου, μελέτησε το φαινόμενο του ήχου ως αντικείμενο της ανθρώπινης αίσθησης. Στο *Περί Ψυχής* ο Αριστοτέλης ασχολήθηκε με την ιδιότητα του ήχου να είναι πάντοτε συνυφασμένος με εξωχητικούς παράγοντες όπως τη δυνατότητα να προκαλεί αισθήματα και αναμνήσεις. Έτσι, όρισε ως πεδίο του ηχητικού φαινομένου την ανθρώπινη εμπειρία και διατύπωσε την άποψη ότι ο ήχος δεν μπορεί ποτέ να γίνει αντιληπτός χωρίς αυτή τη διάσταση. [Pöhlmann, 2020]

Αν και δεν σώζονται αρκετά στοιχεία από το έργο του Αριστοτέλη σχετικά με την περίπτωση της μουσικής γνωρίζουμε ότι εν πολλοίς διατήρησε την ίδια στάση με τον Πλάτωνα ως προς την χρήση της Μουσικής και την παιδαγωγική σημασία της. Εντούτοις, σε αντίθεση με τον τελευταίο αναγνώριζε μια κάποιου είδους αξία στην ορχηστρική μουσική στην οποία απέδιδε χρηστικό ρόλο λόγω της ιδιαίτερης μιμητικής της ικανότητάς ως προς ανθρώπινα συναισθήματα, ακόμη και σε σύγκριση με τη ζωγραφική [Stamou, 2002].

Η διάκριση αυτή μεταξύ των δύο διαφορετικών ειδών μουσικής και της αξίας τους για τον άνθρωπο θα παρέμενε για πολλούς αιώνες αντικείμενο διαμάχης της Φιλοσοφίας αντικατοπτρίζοντας τη πορεία της Ιστορίας της Μουσικής, από τη θρησκευτική μουσική του Μεσαίωνα η οποία όφειλε δια του λόγου να υμνεί τον Κύριο μέχρι τον Ρομαντισμό όπου η μουσική στόχευε καθαρά στην αισθητική απόλαυση. Ανεξαρτήτως των διαφοροποιήσεων, όλες οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις των Αρχαίων Ελλήνων σχετικά με την επίδραση της Μουσικής στη διαμόρφωση της ψυχικής και συναισθηματικής κατάστασης αποτελούν υπό μία έννοια και μια πρώτη μορφή της εμπειρικής ψυχολογίας.

1.1.2 Η πρόμη φαινομενολογική προσέγγιση του Αριστόξενου

Ως προς την Ακουστική επιστήμη, ένας μαθητής του Αριστοτέλη, ο Αριστόξενος από τον Τάραντα (375 π.Χ. - 335 π. Το έργο *Αρμονικά στοιχεία* είναι και το μοναδικό που διασώζεται ημιτελές από το σύνολο εκατοντάδων έργων αυτού του φιλοσόφου και αποτελεί την κύρια πηγή γνώσης μας για την αρχαία ελληνική μουσική. Ο ίδιος ανήκε στην περιπατητική σχολή και, μολονότι βαθύτατα επηρεασμένος από το πυθαγόρειο μοντέλο –όντας άλλωστε γεννημένος στον Τάραντα όπου η πυθαγόρεια σκέψη άκμαζε– υιοθέτησε μια εμπειριστική στάση απέναντι στην αντίληψη της αρμονίας των ήχων. Ακολουθώντας μια τρόπον τινά φαινομενολογική προσέγγιση, θεωρούσε ότι η γνώση της μαθηματικής σχέσης μεταξύ των αρμονικών διαστημάτων έπεται της αίσθησης που τα προσλαμβάνει και ότι στη μουσική δημιουργία ο μουσικός δεν συνθέτει μια μελωδία έχοντας κατά νου τις αριθμητικές αναλογίες. Σύμφωνα με τον Αριστόξeno ο κριτής για την αρμονία των ήχων ήταν το αυτί και ότι η περιγραφή τους έπεται. Επομένως, η ιεράρχηση των μουσικών διαστημάτων θα έπρεπε να γίνει μόνο βάσει της επίδρασης που έχουν στον ακροατή και όχι βάσει των μαθηματικών αναλογιών τους [Griffiths 2004; Levitin 1999]. Έτσι, επινόησε μια κλίμακα όπου περιελάμβανε το 1/12 της οκτάβας, το ημιτόνιο ενώ το σύστημα του πρότεινε την συγκεκριμένη κλίμακα που θα καθιερωνόταν δύο χιλιάδες χρόνια μετά.

Για την εγκυρότητα της οπτικής του Αριστόξενου συνηγορεί το γεγονός ότι η λαϊκή μουσική της εποχής δεν φαινόταν να χρησιμοποιεί αποκλειστικά τα διαστήματα τα οποία το πυθαγόρειο σύστημα θεωρούσε αυστηρώς αρμονικά. Το πυθαγόρειο μουσικό σύστημα λόγω της ανάγκης του να βασιστεί στα σταθερά θεμέλια των μαθηματικών άφηνε απ' έξω συνδυασμούς ήχων που αν και λιγότερο αρμονικοί χρησιμοποιούνταν στη μουσική της εποχής [Purves 2017, 50]. Παρ' όλ' αυτά, ο συντηρητισμός του συστήματος του Πυθαγόρα δικαιολογείται από την επιστημονική του φιλοδοξία.

1.1.3 Ο θεολογικός μυστικισμός των λόγιων του Μεσαίωνα

Τους αιώνες που ακολούθησαν, σημειώθηκε κάποια πρόοδος στη δυτική σκέψη γύρω από τη μελέτη του ήχου αλλά πάντοτε στην ίδια κατεύθυνση ενώ θα έπρεπε να φτάσει ο άνθρωπος στο τέλος της Αναγέννησης για να επεκτείνει σημαντικά τις γνώσεις του πάνω στα φαινόμενα του ήχου. Ο Πτολεμαίος (100-170), στο μοντέλο του για το “βασιλείο των Ουρανών” διατήρησε την πίστη

στην ύπαρξη μιας ιερής αρμονίας του σύμπαντος που ο άνθρωπος μπορούσε να διαπιστώσει με τις αισθήσεις του στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονταν το τι είναι αρμονικό στη μουσική. Στο βιβλίο του *Αρμονικόν*, μια μουσική πραγματεία για τη μουσική θεωρία των κλιμάκων εναντιώθηκε στην εμπειριστική στάση του Αριστόξενου και επανέφερε την καθαρή πυθαγόρεια μαθηματική ανάλυση. Εντούτοις, σημαντικό στοιχείο της συνεισφοράς του εντοπίζεται στη μεθοδολογική του προσέγγιση. Για την ανάπτυξη της θεωρίας του, επινοεί ένα θεωρητικό μηχανισμό, τον αρμονικό κανόνα, με τη χρήση του οποίου διαπραγματεύεται τα διάφορα θέματα της πραγματείας.

Από μεθοδολογική σκοπιά, ο Πτολεμαίος επίσης χρησιμοποίησε ένα πειραματικό όργανο για τη μελέτη των μουσικά σύμφωνων διαστημάτων και μαθηματικών σχέσεων που τα διέπουν, τον ελικώνα. Ο ελικώνας, ο οποίος ήταν έγχωρο όργανο αποτελούμενο από οκτώ χορδές ίσου μήκους και πάχους, μπορούσε μέσω ενός περιστρεφόμενου μηχανισμού, να παράξει μια πλήρη οκτάβα σε οποιαδήποτε τονικότητα [West, 1992]. Η επίδραση του έργου του Πτολεμαίου ήταν καταλυτική στους αιώνες που ακολούθησαν.

Έτσι, οι διανοητές του Μεσαίωνα, που είχαν την αποκλειστικότητα στη μελέτη της αρχαίας γραμματείας, διέσωσαν και μετέδωσαν την υπόθεση ότι ανάμεσα στην Μουσική και την Αστρονομία υπήρχε μια σχέση ταυτότητας. Η άρρηκτη σχέση Μουσικής, Αστρονομίας και Θεολογίας όπου διατηρούσε τις καταβολές της από την πυθαγόρεια φιλοσοφία υπήρξε αναπόσπαστο τμήμα της νεοπλατωνικής παράδοσης που ήταν τότε η κυρίαρχη κοσμοθεωρία. [Initchy, 2002, 37]

Ανάμεσα στους λόγιους της εποχής, εκείνος που ασχολήθηκε εκτενώς με τη μελέτη της Μουσικής ήταν ο Βοήθιος (477-524), Ρωμαίος φιλόσοφος του πρώιμου Μεσαίωνα. Στο έργο του *De institutione musica* δανειζόμενος το μοντέλο του Πυθαγόρα, διαχώρισε τις εκφάνσεις της Μουσικής σε τρεις κατηγορίες: την *musica instrumentalis*, την *musica humana* και την *musica mundana*. Η πρώτη έκφανση, η *musica instrumentalis* ήταν η συνήθης μουσική της καθημερινότητας του ανθρώπου, η μουσική που παράγεται από τα μουσικά όργανα. Η δεύτερη, η *musica humana* ήταν η μουσική που παράγει ο ανθρώπινος οργανισμός. Τέλος, η *musica mundana* ήταν η μουσική που παράγει ο Κόσμος, η μουσική των Σφαιρών όπως τη συνέλαβε ο Πυθαγόρας. Σε συμφωνία με τη διδασκαλία του τελευταίου οι τρεις αυτές μουσικές, αν και διέφεραν σε κλίμακα, αποτελούνταν από τους ίδιους φθόγγους [Godwin, 1992, 86].

Την κατεύθυνση των πυθαγορείων και του πτολεμαϊκού συστήματος ακολούθησε και ο Κέπλερ (1571-1630) με το έργο του *Harmonice mundi* (1619) ο οποίος προσπάθησε να εξηγήσει τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων με μουσικούς όρους.

Κατά την περίοδο του ύστερου Μεσαίωνα, οι συνθέτες επέκτειναν την χρήση των διαστημάτων που χρησιμοποιούσαν, συμπεριλαμβάνοντας πλέον στις συνθέσεις τους τη μεγάλη 3η

(5:4), τη μικρή 3η (6:5) και τη μεγάλη 6η (5:3), έτσι ο Geoseffo Zarlino (1517-1590), θεωρητικός και συνθέτης ο ίδιος, τροποποίησε την τετρακτύ του συστήματος των Πυθαγορείων ώστε να συμπεριλάβει τους αριθμούς 5 και 6. Το 6 άλλωστε στην χριστιανική Κοσμολογία θεωρούνταν ιερό αφού ο Κόσμος είχε δημιουργηθεί σε διάστημα 6 ημερών. Επιπλέον, οι πλανήτες εκείνη την εποχή ήταν 6. Έτσι, δεν θα διαταρασσόταν η σταθερή ιερή σχέση της Μουσικής με τον φυσικό κόσμο.

Είναι φανερό, όσο και αναμενόμενο, ότι στα μοντέλα που πρότειναν όλοι οι προαναφερθέντες φιλόσοφοι και επιστήμονες ενυπάρχει το στοιχείο της θεϊκότητας των νόμων της Φύσης και των Μαθηματικών και άρα των νόμων που διέπουν τον ήχο. Ωστόσο με την πάροδο των αιώνων διαφαίνεται σταδιακά η αυξανόμενη ανάγκη να θεμελιωθεί μια επιστημονική μέθοδος που θα προφυλάσσει τη γνώση από τις ακροβατικές κινήσεις της θεολογίας. Διαφαίνεται, αν και αμυδρά, η ανάγκη να διαχωριστεί αυτό που είναι μεταφυσική από αυτό είναι αδιαπραγμάτευτα επιστήμη.

1.1.2 Τα πρώτα στάδια της Ακουστικής στην Αναγέννηση

Στην περίοδο της Αναγέννησης, η μετάβαση από τον μυστικισμό, που διαπότιζε την επιστημονική μέθοδο των προηγούμενων αιώνων, στον ορθολογισμό, όπως θα διαμορφωνόταν κατά την περίοδο του Διαφωτισμού, επηρέαζε και τη αντίληψη της Μουσικής. Πλήθος διανοητών ασχολήθηκε με το ερώτημα της συμφωνίας και συνέβαλαν στο να εγκαταλειφθεί το μοντέλο των απλών αναλογιών. Είχε αρχίσει να διαμορφώνεται η ιδέα ότι ο ήχος συνδέεται με τα δονούμενα συστήματα και ότι οι λόγοι του Πυθαγόρα ήταν όροι αναλογιών μεταξύ των συχνοτήτων που αυτά παρήγαγαν. Μεταξύ των επιστημόνων που ασχολήθηκαν με το φαινόμενο του ήχου ήταν ο Γαλιλαίος και ο Νεύτωνας.

Εξέχουσα φυσιογνωμία της εποχής που αφιερώθηκε στην μελέτη του ήχου και της μουσικής είναι ο Γάλλος πολυμαθής Marin Mersenne (1588-1648), ένας μοναχός του τάγματος Minim, που ήταν μεταξύ άλλων μουσικός, μαθηματικός και φυσικός. Υπήρξε συνομιλητής άλλωστε του Γαλιλαίου (1564-1642) που το έργο του σηματοδότησε την εισαγωγή της παρατηρησιακής μεθόδου, θεμελίωσε το πεδίο που θα γινόταν η κατευθύνουσα οδός για την μελέτη του φαινομένου του ήχου στους επόμενους αιώνες. Υπήρξε πολέμιος αιρέσεων και παραεπιστημονικών ρευμάτων της εποχής, λ.χ. του καμπαλισμού, του ερμητισμού και της διδασκαλίας του Παράκελσου (1493-1541). Στα μέσα της δεκαετίας του 1630 φαίνεται να απομακρύνθηκε από τους σχολαστικούς του μεσαίωνα: εγκατέλειψε την αριστοτελική προσέγγιση στην εύρεση φυσικών αιτιών, δηλαδή με την έννοια της *ουσίας*, και διακήρυττε ότι η Φυσική, ως

αληθινή επιστήμη, δεν μπορούσε παρά να είναι περιγραφική επιστήμη της κίνησης, σε συμφωνία με το σύστημα που πρότεινε ο Γαλιλαίος [Mace 1970, 3-5].

Ο Mersenne θεωρείται ο πατέρας της Ακουστικής χάρη στην ανάπτυξη των νόμων Mersenne, ένα σύνολο κανόνων που περιγράφουν την ταλάντωση της χορδής, αλλά και χάρη στη συγγραφή του έργου *Harmonie universelle*, δημοσιευμένου στο Παρίσι το 1636, το οποίο αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της μουσικής θεωρίας. Εκεί, ανέπτυξε τη θεωρία ότι πέρα από τη θεμελιώδη συχνότητα του ήχου, καθοριστικό ρόλο για την αντίληψη της τονικότητας του ήχου παίζουν οι υπερτόνοι (ή αλλιώς παράγωγες συχνότητες του ηχητικού κύματος) οι οποίοι είναι ακριβή μουσικά διαστήματα σε σχέση με τη θεμελιώδη.

Επιπλέον, το ξεπέραςμα του μοντέλου των αναλογιών των πρώτων αριθμών για τη συμφωνία διαφαίνεται και στις προσπάθειες αρκετών να αντικαταστήσουν την ισοτονική διαίρεση της οκτάβας. Όπως είχε προτείνει ο Vincenzo Galilei, το 1636, πατέρας του Γαλιλαίου, έτσι και ο Mersenne υποστήριζε ότι θα έπρεπε να υιοθετηθεί ένα διαφορετικό σύστημα κουρδίσματος από εκείνο του ισοτονικού συγκερασμού. Σε αντίθεση με τον ισοτονικό συγκερασμό (just intonation), που βασιζόταν στο πυθαγόρειο σύστημα και διαιρούσε την οκτάβα ως λόγους ακεραίων, ο διαχωρισμός της οκτάβας θα έπρεπε να γίνει σε 12 ίσα πολλαπλάσια, σε συμφωνία με το σύστημα του Αριστόξενου, κάτι που θα επέτρεπε της μετατροπές αλλά και την ενοποίηση του τρόπου κατασκευής των πληκτροφόρων τα οποία είχαν αρχίσει να καθιερώνονται στην μουσική [Mace, 1970].

1.2 Η μελέτη του ήχου από τον Διαφωτισμό στον 19ο αιώνα

Με την έναρξη της περιόδου του Διαφωτισμού ο ορθός λόγος και η αναλυτική μαθηματική μέθοδος θα θεωρούνταν έκτοτε οι τρόποι με τους οποίους ο άνθρωπος μπορούσε να αποκτήσει στέρεα γνώση για τον κόσμο. Οι επιστήμονες που μελετούσαν την αντίληψη του ήχου όφειλαν και εκείνοι να βασίζονται τα επιχειρήματά τους, και επομένως τα συμπεράσματά τους, σε στοιχεία που επαληθεύονταν μέσω ασφαλών μαθηματικών μεθόδων. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στις περιπτώσεις των επιστημόνων που ακολούθησαν, η μελέτη της αντίληψης του ήχου συνέχιζε να αποτελεί ένα πεδίο έρευνας που τοποθετούνταν στο σύνορο ανάμεσα στη φιλοσοφία και την επιστήμη.

Ορόσημο στην προσπάθεια να αποτινάξει η φιλοσοφία τη συσκοτιστική επιρροή της θεολογίας και της μεταφυσικής είναι η επονομαζόμενη επιστημολογική στροφή η οποία προσωποποιείται στη σκέψη του Descartes (1596-1650). Κεντρικός μηχανισμός της καρτεσιανής

σκέψης υπήρξε ο ρασιοναλισμός και η πεποίθηση ότι ο άνθρωπος αποκτά την γνώση και την εμπειρία του για τον κόσμο μέσω του ορθού λόγου. Ο Descartes απομάκρυνε τη φιλοσοφία από τις πεποιθήσεις των σχολαστικών μεταξύ των οποίων ήταν ο διαχωρισμός ανάμεσα στην *ουσία* και τη *μορφή* αλλά και η ύπαρξη ενός τελικού σκοπού, είτε φυσικού είτε θείου για την εξήγηση των φυσικών φαινομένων. Επιπλέον, με το έργο του *Passions of the Soul* (1649) έθεσε τα θεμέλια για τη μελέτη των ψυχικών διεργασιών και ανθρώπινων συναισθημάτων σε μία επιστημονική βάση κάτι που μέχρι τότε θεωρούνταν ανεπίτρεπτο λόγω της εικαζόμενης θείας φύσης της ανθρώπινης ψυχής. [Carlson, 2001, 8]

1.2.1 Η θεμελίωση της Ακουστικής ως επιστήμης στον 18ο αιώνα

Επεκτείνοντας τις μελέτες των Mersenne και Γαλιλαίου, ο μαθηματικός και φυσικός Joseph Sauver (1653-1716) και αναλύοντας τη συμπεριφορά της δονούμενης χορδής απέδειξε ότι οι υπερτόνοι προέρχονταν από τους διαφορετικούς κανονικούς τρόπους ταλάντωσής της και ήταν ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας, χωρίς φυσικά να περιορίζονται στους έξι πρώτους αριθμούς. Την ίδια περίοδο, πέραν των μαθηματικών καινοτομιών, οι επιστήμονες αλλά και οι μουσικοί που ασκούσαν στο πεδίο της ακουστικής εισήγαγαν νέα όργανα για τη μελέτη του ήχου ως φυσικού φαινομένου. Το διαπασών, μια επινόηση του Βρετανού μουσικού John Shore (1662-1752), ήταν το καθιερωμένο όργανο για το κούρδισμα των οργάνων μιας ορχήστρας. Το διαπασών ήταν ένας τρόπος να παραχθεί ένας καθαρός απλός τονικός ήχος με την μέγιστη ενέργεια στη θεμελιώδη συχνότητα. Ανάλογα με τις διαστάσεις του παρήγαγε και τόνους διαφορετικής συχνότητας. Ωστόσο, για την ανάπτυξη της ακουστικής το διαπασών, λόγω των κατασκευαστικών του περιορισμών, δεν συνεισέφερε πολλά. Φέρ' ειπείν, εφόσον παρήγαγε έναν σταθερό τόνο ήταν ακατάλληλο για παρατηρήσεις που θα συνέδεαν τη μεταβολή της συχνότητας της πηγής με τη μεταβολή στην τονικότητα του παραχθέντος ήχου.

Η σχέση ανάμεσα στην συχνότητα της ταλάντωσης και τον τόνο (pitch) ενός ήχου επαληθεύτηκε πειραματικά για πρώτη φορά από τον Robert Hooke (1635-1703). Μέσω μιας περιστροφικής μηχανικής κατασκευής ο Hooke μπόρεσε να μετατρέψει την περιστροφή (συχνότητα) σε ήχο (τόνο). Το αποτέλεσμα του πειράματος ήταν ότι η αύξηση στη συχνότητα οδηγούσε σε αύξηση του τόνου και αντίστροφα. Εκείνη η πειραματική διάταξη που επινόησε ο Hooke υπήρξε ο πρόγονος του τροχού του Felix Savart (1791-1841) τον οποίο θα χρησιμοποιούσε έναν αιώνα μετά για τη μελέτη της ανθρώπινης ακοής. Στην κορύφωση του Διαφωτισμού, οι επιστήμονες είχαν κάνει ακόμη ένα βήμα προς μια θεμελίωση της επιστήμης της ακουστικής.

Όμως, η επιστήμη πολύ απέχει από το να είναι σε θέση να μελετήσει την αισθητική αξιολόγηση και την αρμονικότητα των ήχων, μιας και μελετούσε τον ήχο ως μεμονωμένο φυσικό φαινόμενο.

1.2.2 Η γέννηση της Αισθητικής Φιλοσοφίας

Από την άλλη πλευρά, η φιλοσοφία δεν ασχολούνταν ακόμη με την αντίληψη του ήχου και τις λειτουργίες που καθιστούν εφικτή αυτή την ικανότητα του ανθρώπου, παρά μόνο με τον βαθμό πνευματικότητας της μουσικής. Με την ολοένα και μεγαλύτερη δημοφιλία της ορχηστρικής μουσικής, δηλαδή απ' όταν αποσυνδέθηκε η μουσική από την απαραίτητη συνοδεία της φωνής και από τα νοήματα τα οποία αυτή εξέφραζε, αυξάνονταν και οι προβληματισμοί σχετικά με την δυνατότητά της να εξυψώνει το πνεύμα και την ψυχή του ανθρώπου σε ανώτερα επίπεδα. Επανάλθε με αυτό τον τρόπο η διάκριση περί Μουσικής όπως προσωποποιούνταν στη διαφορά μεταξύ των θεωρήσεων του Πλάτωνα και του Αριστοτέλη.

Η αισθητική αξιολόγηση της μουσικής αποτέλεσε αντικείμενο διερεύνησης της φιλοσοφίας της εποχής με τη γέννηση της αισθητικής φιλοσοφίας στο έργο του Baumgarten (1714-1762) ο οποίος εισήγαγε και τον όρο. Ο ίδιος επηρεασμένος από τη σκέψη του Leibniz (1646-1716) επιχείρησε να θεμελιώσει μια αισθητική θεωρία στη βάση του ρασιοναλισμού. [Nadler, 2008, 622] Κατόπιν, η θέση της αισθητικής φιλοσοφίας στο οικοδόμημα των φιλοσοφικών θεωριών εδραιώθηκε με το έργο του Kant (1724-1804) το οποίο θα αποτελούσε και την κυρίαρχη επιρροή. Το φιλοσοφικό σύστημα του Kant για την αισθητική κριτική οδήγησε τη σκέψη μακριά από τη μελέτη της αισθητηριακής απόλαυσης και των προκαλούμενων συναισθημάτων στον άνθρωπο, αναζητώντας, σε γνωσιολογικό επίπεδο, την υπερβατική διάσταση του νοήματος στην ομορφιά. Ο Καντ κατέτασσε την ορχηστρική Μουσική, ή αλλιώς την Απόλυτη Μουσική, χαμηλά στην ιεραρχία των τεχνών, χωρίς να την θεωρεί καν Καλή Τέχνη, εφόσον δεν μετέφερε νοήματα αλλά συναισθήματα. [Τσέτσος, 2012, 12] Στο μεγαλύτερο μέρος τους οι προαναφερθέντες αισθητικοί φιλόσοφοι αναζητούσαν την έννοια της ομορφιάς της Μουσικής στα επιμέρους στοιχεία της ανάλυσης ενός μουσικού έργου με τον ορθό λόγο.

1.2.3 Η πρόμη νευροαισθητική προσέγγιση των Βρετανών εμπειριστών

Εντούτοις, σε αντίθεση με την καντιανή σκέψη, η βιολογική διάσταση της αντίληψης της ομορφιάς και της αρμονικότητας εμφανίζεται σε ορισμένους Βρετανούς εμπειριστές φιλόσοφους με κεντρικό

τον Edmund Burke (1729-1797). Σε αυτή τη γραμμή κινούμενος, στο βιβλίο του *Philosophical Enquiry into the Origin of our Ideas of the Sublime and the Beautiful* (1757), διατύπωσε την υπόθεση ότι η αίσθηση του δέους και η απόλαυση της ομορφιάς των εξωτερικών ερεθισμάτων, μεταξύ των οποίων βρίσκεται και η μουσική, θα πρέπει να έχει κάποια κοινή προέλευση με τον βιολογικό μηχανισμό που διέπει αφενός τη λειτουργία του πόνου και αφετέρου των ανθρώπινων παθών. [Moore, 2002, 110] Σύμφωνα με τον Burke, όπως ο ανθρώπινος οργανισμός έχει την τάση να αντιδρά σε αφύσικα, βίαια, εξωτερικά ερεθίσματα τα οποία μέσω των νεύρων προκαλούν την αίσθηση του πόνου και άρα του φόβου, θα πρέπει σε ανάλογη περίπτωση, για λόγους αυτοσυντήρησης και ως αντίδραση, να προκαλείται στον άνθρωπο η αίσθηση του δέους. Αντιστοίχως, οποιοδήποτε ερέθισμα επιδρά στον άνθρωπο μέσω της χαλάρωσης των νεύρων του σώματος θα πρέπει να προκαλεί την αίσθηση της ομορφιάς. Επιπλέον, αντίληψη της ομορφιάς σε οποιαδήποτε έκφανση της θα έπρεπε να έχει προκύψει από την τελειοποίηση του ίδιου μηχανισμού που ευνοεί την λειτουργία της αναπαραγωγής και της επιλογής του κατάλληλου ερωτικού συντρόφου [Burke, 1757, 287]. Οι ιδέες του Burke υιοθετήθηκαν από τους σύγχρονους του όπως ο Daniel Webb (1769) αλλά και σε μεταγενέστερους φιλόσοφους όπως ο Uvedale Price (1869). Ο τελευταίος βάσισε τη θεωρία του στην προγενέστερη υπόθεση του Descartes και των σύγχρονών του, ότι το σώμα είναι μια μηχανή η οποία επικοινωνεί με το μυαλό χάρη στην ύπαρξη *ζωικών πνευμάτων* τα οποία κινούνται μέσω των νευρώνων και μεταφέρουν τις αισθητηριακές πληροφορίες. [Nadal & Pearce, 2011, 173]

Η φυσιολογική διάσταση της αισθητικής εμπειρίας εντοπίζεται επίσης και στο έργο του Νίτσε (1844-1900) ο οποίος ως απάντηση στον συνθέτη Wagner στα πλαίσια της διαμάχης για τον πνευματικό χαρακτήρα της Απόλυτης Μουσικής και την αισθητική της αξία περιέγραψε την αισθητική ως “εφαρμοσμένη φυσιολογία” (Moore, 2002, 109).

Οι παραπάνω υποθέσεις αποτελούν, αφενός, τα πρώτα ίχνη της εμπειρικής αισθητικής που θα θεμελιωνόταν με τη εισαγωγή των ψυχοφυσικών μελετών και, αφετέρου, τα πρώτα ίχνη της αισθητικής συμπεριφοράς ως αποτέλεσμα εξελικτικής βιολογίας όπως θα παρουσιαζόταν στις εργασίες του Δαρβίνου (1809-1882). Προς το παρόν όμως αυτές οι θεωρίες θα υποσκελιζόνταν από το καντιανό σύστημα σκέψης της αισθητικής ενώ θα έπρεπε να περιμένουν τις επιστημονικές μεθόδους που θα υιοθετούνταν ένα αιώνα αργότερα ώστε να ανακάμψουν.

1.2.4 Ο Ρομαντισμός και η κατάρρευση των προτύπων

Με το κλείσιμο του 18ου αιώνα και κατά τη διάρκεια του 19ου, η Μουσική θα υφίστατο ριζικές αλλαγές που την επηρέαζαν, όχι μόνο σε φορμαλιστικό και αισθητικό επίπεδο, αλλά κοινωνικά και πολιτικά. Η φόρμα της Μουσικής είχε αρχίσει να απελευθερώνεται. Οι συνθέσεις της εποχής αναιρούσαν κάθε προηγούμενο περιορισμό με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη ριζοσπαστικότητα των έργων του Μπετόβεν (1770-1827). Το διάστημα της μικρής 2ης έπαυε να είναι το απαγορευμένο προς χρήση διάστημα όπου οι συνθέτες των προηγούμενων αιώνων ονόμαζαν διαβολικό λόγω της χαρακτηριστικής του δυσαρμονίας και θα αποτελούσε τις εναρκτήριες νότες στο μνημειώδες *Für Elise*. Η Μουσική είχε ανεπιστρεπτί περάσει το σύνορο μεταξύ της κλασσικής περιόδου και του Ρομαντισμού ανοίγοντας το δρόμο προς τον μοντερνισμό.

Επιπλέον, η Μουσική ως θεαματικό προϊόν είχε μετατεθεί πλέον από τα σαλόνια των μοναρχών, των ευγενών και της αριστοκρατίας σε μεγάλους συναυλιακούς χώρους της ανερχόμενης αστικής τάξης και αυτή η μετάβαση δημιούργησε πρακτικές ανάγκες που θα έλυνε η ακουστική. Τα μουσικά έργα των συνθετών δεν αποτελούσαν αποκλειστικό προνόμιο της Αυλής. Με την έναρξη της περιόδου του Ρομαντισμού τα μέλη της ορχήστρας έφτασαν σε πρωτοφανή μεγέθη και το ίδιο ίσχυε για το ακροατήριο. Έτσι, η συνύπαρξη όλων αυτών των οργάνων απαιτούσε να καθοριστεί ένα σύστημα κουρδίσματος το οποίο θα εξυπηρετούσε την εκτέλεση των έργων. Η ενοποίηση του συστήματος διαίρεσης της οκτάβας ήταν απαραίτητη και έτσι το equal temperament υιοθετήθηκε ευρέως από τις ορχήστρες στο τέλος του 18ου αιώνα στη Γαλλία και τη Γερμανία και στις αρχές του 19ου αιώνα στην Αγγλία. Την ίδια στιγμή, οι συναυλιακοί χώροι απαιτούσαν ιδιαίτερη αρχιτεκτονική μελέτη για να βελτιωθεί η χωρική ακουστική, μιας και η μουσική δωματίου αντικαταστάθηκε από τη μουσική που αντηχούσε σε χαοτικά μεγαλύτερες αίθουσες.

1.2.4 Η εισαγωγή της Ανάλυσης Fourier και ο Ακουστικός Νόμος του Ohm

Στο πεδίο της επιστήμης της ακουστικής σημειώθηκαν επίσης ριζικές αλλαγές στη μεθοδολογία της. Με τη συνεισφορά των Bernoulli (1700-1782), Euler (1707-1783) και D' Alembert (1717-1783) διαμορφώθηκε πλήρως η περιγραφή των αρμονικών σειρών και έγινε φανερό ότι το ίδιο μοντέλο μπορούσε να περιγράψει, πέραν της ταλαντούμενης χορδής, όλα τα φυσικά συστήματα [Bowling, 2015, 2]. Έτσι, η αδιαφιλονίκητη δυνατότητα των μαθηματικών, ως στεγανού μηχανισμού, να δίνουν ασφαλείς απαντήσεις ανεξαρτήτως του πλαισίου στο οποίο

χρησιμοποιούνται αρχικώς, επέτρεψε στους επιστήμονες να επεκτείνουν τα θεωρήματα του Γάλλου μαθηματικού και φυσικού Joseph Fourier (1768-1830) στη Θερμοδυναμική –θεωρήματα για την ανάλυση των διακυμάνσεων της θερμότητας στο χρόνο– και να τα χρησιμοποιήσουν για την ανάλυση των σύνθετων ήχων. Ο διάσημος για τη συνεισφορά του στο πεδίο του ηλεκτρισμού φυσικός George Ohm (1789-1854), ο οποίος ασχολήθηκε μεταξύ άλλων με την ακουστική, εφάρμοσε τη μέθοδο του μετασχηματισμού του Fourier στη μελέτη των σύνθετων ήχων αποδεικνύοντας ότι κάθε ήχος θα μπορούσε να αναλυθεί με αυτό τον τρόπο στους επιμέρους απλούς αρμονικούς ημιτονοειδείς ήχους που τον συνθέτουν. Διατύπωσε επιπλέον την πρωτοποριακή για τα δεδομένα της εποχής θεωρία ότι ο ίδιος μηχανισμός ανάλυσης θα πρέπει να επιτελείται και από το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα. Αυτή η υπόθεση συνιστά τον ακουστικό νόμο του Ohm και υπήρξε η πρώτη επίσημη σύνδεση μεταξύ της ακουστικής και της φυσιολογίας.

Ο ήχος, ο οποίος γινόταν αντιληπτός και μελετούνταν ως προς την εξέλιξη του στο χρόνο μπορούσε πλέον να μελετηθεί στο πεδίο των συχνοτήτων μέσω του αρμονικού του φάσματος, δηλαδή το προϊόν της ανάλυσης Fourier. Ταυτοχρόνως, ήταν πλέον ευρέως δεκτό ότι στην αρμονική σειρά των δονούμενων συστημάτων που παράγουν ήχο θα έπρεπε να αναζητηθεί η πηγή της της συμφωνίας και της διαφωνίας στη μουσική. Ο εργαλειακός χαρακτήρας αυτής της επιστημονικής ανακάλυψης θα αποδεικνυόταν εξαιρετικά χρήσιμος για την μελέτη της ακουστικής εφόσον έδινε στους επιστήμονες μια ακόμη διάσταση του ήχου, μέχρι τώρα αφανούς.

1.2.5 Ο von Helmholtz και η εδραίωση της Ψυχοακουστικής

Με τη θεμελίωση του πεδίου της ψυχοφυσικής και της εμπειρικής αισθητικής που έφερε η γέννηση της πειραματικής ψυχολογίας, όπως διαμορφώθηκε από τον Gustav Fechner (1801-1887), δηλαδή το πεδίο που ερευνούσε τη σχέση μεταξύ των αντικειμένων του φυσικού κόσμου και τη σχέση τους με την ανθρώπινη συνείδηση μέσω των αισθητηριακών οργάνων, το ενδιαφέρον της ακουστικής μετατοπίστηκε στο διαχωρισμό ανάμεσα στον ήχο και το ηχητικό ερέθισμα. Ο ήχος αντιμετωπιζόταν πλέον, όχι αποκλειστικά ως φυσικό αντικείμενο με ανεξάρτητες από τον άνθρωπο μεταβλητές αλλά, ως ερέθισμα που προϋποθέτει ένα δέκτη, καθώς έγινε φανερό ότι κατά την πρόσληψή του από τον άνθρωπο υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία. Ο ήχος στον επόμενο αιώνα θα γινόταν σταδιακά σήμα.

Ορόσημο στην μελέτη της αντίληψης, την ίδια εποχή, με την εξέλιξη της νευροεπιστήμης και την εφεύρεση των οργάνων για τη μελέτη της εγκεφαλικής λειτουργίας, ήταν και οι πρώτες ανακαλύψεις για τους φλοιικούς μηχανισμούς που εμπλέκονται στην παραγωγή και την κατανόηση

της γλώσσας. Nadal, 173, (Broca, 1863; Wernicke, 1874)]. Αυτές οι ανακαλύψεις θα αποτελούσαν και την αρχή πλήθους ανακαλύψεων για τη σύνδεση μεταξύ των λειτουργιών της γλώσσας και εκείνων της μουσικής έναν αιώνα μετά.

Το πεδίο της ακουστικής επίσης μεταμορφωνόταν. Ο Herman von Helmholtz (1821-1894), Γερμανός επιστήμονας και φιλόσοφος, θεωρείται από πολλούς πρωτοπόρος της Ψυχοακουστικής με τις έρευνες του στη φυσιολογία και τη ψυχοφυσιολογία για τη μελέτη της αντίληψης του ήχου. Έχοντας σπουδάσει Ιατρική, πέραν της Φυσικής και της Φιλοσοφίας, και έχοντας ολοκληρώσει τη διδακτορική του διατριβή υπό την επίβλεψη του Johannes Müller (1801-1858) στο εργαστήριο του, απομακρύνθηκε από τη βιταλιστική προσέγγιση του τελευταίου. Δηλαδή εναντιώθηκε στην (ομολογουμένως υπερβατική) θέση ότι στα όντα ενυπάρχει μια ζωτική δύναμη που βρίσκεται πέραν των επιμέρους οργανικών λειτουργιών των όντων και που άρα είναι μη παρατηρήσιμη πειραματικά, καθιστώντας την πειραματική φυσιολογία ουσιαστικά ανέφικτη. [Mion & Martini, 2021] Αντιθέτως, πίστευε ότι υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στους νόμους της Φύσης και σε εκείνους που διέπουν την αντίληψη.

Εγκατέλειψε έτσι το καντιανό φιλοσοφικό σύστημα σκέψης και ενστερνίστηκε την άποψη ότι ο άνθρωπος αποκτά όλη τη γνώση του για τον κόσμο μέσω των αισθήσεων, πεπεισμένος ότι όλες οι αισθήσεις και οι λειτουργίες της αντίληψης μπορούσαν να διερευνηθούν εξαντλητικά μέσω του πειράματος. Μια και ο ίδιος υπήρξε λάτρης της Μουσικής και της Ζωγραφικής θα προσπαθούσε να εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο η αισθητική, με τις διαφορετικές εκφάνσεις της, παρουσιάζεται στη συνείδηση ως φυσιολογική λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Με τις εργασίες του Helmholtz, αλλά και του Fechner, η συστηματική μελέτη των λειτουργιών της αντίληψης αλλά και η συλλογή ψυχοφυσικών δεδομένων οδηγούνταν μακριά από την εικονολογία των προηγούμενων αφηρημένων φιλοσοφικών οικοδομημάτων. Αποτέλεσμα αυτών των μελετών αποτέλεσε η έκδοση του έργου *On the Sensation of Tone As a Physiological Basis for the Theory of Music* το 1863 όπου αποπειράθηκε να βασίσει τη θεωρία του για τις ιδιότητες των τόνων, την αντίληψη του ήχου αλλά και την αρμονία και τη δυσαρμονία στη μουσική αποκλειστικά σε φυσιολογικές βάσεις, θεμελιώνοντας με αυτόν τον τρόπο μια επιστήμη της μουσικής αισθητικής.

1.3 Η ανάπτυξη της Ψυχοακουστικής και της Φιλοσοφίας του ήχου στον 20ο αιώνα

Στη διάρκεια του 20ου αιώνα η ψυχοακουστική έρευνα έθετε όλο και περισσότερο στην υπηρεσία τις τεχνολογικές καινοτομίες. Έτσι, από τα αρχικά βήματα της ψυχοφυσικής του Helmholtz και του Fechner με την τεχνολογική πρόοδο μπόρεσε σταδιακά να διευρυνθεί η γνώση για την αντίληψη

του ήχου και να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών από τη βιομηχανία μέχρι την Ιατρική. Στην αύξηση του ενδιαφέροντος για την περαιτέρω ανάπτυξη των ακουστικών και ψυχοακουστικών μελετών συνετέλεσε και η ολοένα και μεγαλύτερη χρήση των νέων τεχνολογιών του ήχου που απευθύνονταν στο ευρύ κοινό.

Ταυτόχρονα, οι νέες κατευθύνσεις στην επιστήμη αντικατοπτρίζονταν και στη φιλοσοφική σκέψη καθώς την ίδια εποχή αναδύεται το φιλοσοφικό σύστημα της φαινομενολογίας. Η Φιλοσοφία αναζητούσε απαντήσεις γνωσιολογικού χαρακτήρα στα ερωτήματα που έθεταν οι νέες επιστήμες αλλά και η σύγχρονη Φυσική. Αυτό που έγινε φανερό με τις μελέτες της περιγραφικής ψυχολογίας και της ψυχοφυσικής ήταν ότι η διάκριση μεταξύ του παρατηρούμενων αντικειμένων του κόσμου, δηλαδή των φαινομένων και του υποκειμένου που τα παρατηρεί δεν είναι αυστηρά καθορισμένη, ούτε μια ένα προς ένα αντιστοιχία μεταξύ του φυσικού κόσμου και του κόσμου της ανθρώπινης συνείδησης. Αναλόγως και για την αντίληψη του ήχου αποδεικνυόταν ότι υπάρχει μια απόκλιση ανάμεσα στο ηχητικό ερέθισμα και στον ήχο ως φυσικό αντικείμενο εγείροντας ερωτήματα για το αν ο ήχος μπορεί να είναι ποτέ κάτι το αντικειμενικό. Η απόσταση αυτή που δημιουργήθηκε μέσω των ψυχοφυσικών πειραμάτων θα μπορούσε να γεφυρωθεί στο πεδίο της Φιλοσοφίας.

1.3.1 Φαινομενολογικές προσεγγίσεις της αντίληψης του ήχου

Η φαινομενολογία αποτελεί ένα ευρύ κίνημα της Φιλοσοφίας –με σημείο εκκίνησης τον Edmund Husserl (1859-1938) και τη σχολή του Brentano στις αρχές του 20ού αιώνα– το οποίο έχει ως αντικείμενο μελέτης την ανθρώπινη εμπειρία, την αντίληψη και την απόκτηση της γνώσης των αντικειμένων του κόσμου. Σύμφωνα με τη φαινομενολογία δεν μπορεί κανείς να δέχεται την ύπαρξη ενός αντικειμένου καθ' εαυτό εφόσον κάτι τέτοιο τοποθετείται εκτός των ορίων της ανθρώπινης συνείδησης. Για τον σκοπό αυτό η Φαινομενολογία στρέφεται στη μελέτη των *φαινομένων*, δηλαδή του τρόπου με τον οποίο τα πράγματα γίνονται αντιληπτά από την ανθρώπινη συνείδηση μέσω των αισθήσεων.

Η φαινομενολογία κατά τον Husserl ήταν μέθοδος για την κατανόηση και τη μελέτη της λογικής. Ο Husserl υιοθέτησε από τον δάσκαλο του, Franz Brentano (1838-1917), την έννοια της *προθετικότητας (intentionality)* ως κύριο χαρακτηριστικό των νοητικών διαδικασιών. Με την έννοια της προθετικότητας, ο Brentano επιχείρησε να περιγράψει την τάση της συνείδησης να αναφέρεται σε ένα περιεχόμενο, υπό μία έννοια να οδηγείται προς αυτό, σαν η νόηση να χαρακτηρίζεται από ένα είδος πρόθεσης. Με άλλα λόγια, όταν μιλάμε για συνείδηση εννοούμε πάντοτε συνείδηση

κάποιου αντικείμενου. Και αντιστρόφως, όταν μιλάμε για κάποιο αντικείμενο, δεν μπορούμε παρά να αναφερόμαστε πάντοτε σε ένα αντικείμενο της αντίληψης.

Ένας ακόμη εκπρόσωπος της Φαινομενολογίας ο οποίος στράφηκε στην μελέτη του τρόπου όπου αποκτούμε την εμπειρία του κόσμου ήταν ο Merleau-Ponty (1908-1961). Η φαινομενολογία του Merleau-Ponty, όπως κι εκείνη του Heidegger (1889-1976), διέκρινε τη σωματικότητα της απόκτησης της εμπειρίας μέσω των αισθήσεων, δηλαδή τη φυσιολογική ενσάρκωση της εμπειρίας. Έτσι, τα φαινόμενα όπως τα εξετάζει η παραδοσιακή επιστήμη επουδενί δεν περιγράφουν τον κόσμο μέσα στον οποίο ζει ο άνθρωπος. [Merleau-Ponty, 1962, 215] Στο πεδίο της αντίληψης του ήχου αυτό το φιλοσοφικό σύστημα δείχνει να λαμβάνει υπόψη του τις διαφορετικές πτυχές που άφηνε απ' έξω η ακουστική ή ακόμη και η ψυχοακουστική. Αφήνει επίσης χώρο για την κατανόηση ορισμένων διαστάσεων που ακόμη δεν είχαν ακόμη γίνει φανερά και θα εισάγονταν με την μελέτη του ανθρώπινου εγκεφάλου, όπως για παράδειγμα, η ανάλυση της ηχητικής σκηνής από τον εγκέφαλο (auditory scene analysis). [Lipari, 2020]

Η φαινομενολογία απελευθέρωσε το ενδιαφέρον της Φιλοσοφίας για την αντίληψη του ήχου από την αποκλειστικότητα της Μουσικής με την παραδοσιακή έννοια. Οι ίδιοι οι συνθέτες είχαν απομακρυνθεί από τις συμβατικές αντιλήψεις για το τι είναι Μουσική, διευρύνοντας περαιτέρω την έννοια και τη χρήση της φόρμας όσο και το είδος του υλικού που μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν για την παραγωγή μουσικών έργων. Με τα έργα του Arnold Schoenberg (1874-1951), του John Cage (1912-1992) και του Pierre Schaeffer (1910-1995), αλλά και με τη χρήση του δωδεκαφθογγικού και του ατονικού συστήματος τα όρια της μουσικής εμπειρίας έμοιαζαν πιο δυσδιάκριτα από ποτέ. Αυτή η απελευθέρωση αντικατόπτριζε την πολυπλοκότητα της ανθρώπινης αισθητικής συμπεριφοράς και της δυνατότητας του εγκεφάλου να αναπτύσσεται και να προσαρμόζεται, αποδεικνύοντας ότι η ανθρώπινη αντίληψη δεν μπορεί να είναι παρά μια δυναμική διαδικασία, κάθε άλλο παρά παγιωμένη.

Ακολούθησαν αρκετοί ακουστικοί φαινομενολόγοι στο δεύτερο μισό του 20ού αιώνα με εξέχουσες περιπτώσεις αυτές του Don Ihde (1934) και του Murray Schaffer (1931-2021). Χαρακτηριστικό στο έργο τους είναι η φαινομενολογική προσέγγιση της ακρόασης χωρίς τους περιορισμούς και τις προκαταλήψεις που προκύπτουν από τη νοηματοδότηση του ήχου και τις νοητικές συνδέσεις που προϋπάρχουν στον άνθρωπο γι' αυτόν. Στο έργο του *Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*, ο Schaffer εισήγαγε την έννοια των ηχοτοπίων, δηλαδή τα ηχητικά πεδία με τα οποία έρχεται διαρκώς σε επαφή ο άνθρωπος και έδωσε έτσι μια περιγραφή της πραγματικότητας της ακρόασης ως συνολικής εμπειρίας πέρα από τα στεγανά των μέχρι επιστημονικών και αισθητικών αντιλήψεων που την κατακερμάτιζαν. Πέρα από την φιλοσοφική του θεώρηση της αντίληψης του ήχου, εισήγαγε την απαραίτητη ορολογία για την

περιγραφή και συστηματοποίησε τρόπους μελέτης των ηχοτοπιών, καθιέρωσε τρόπους μουσικής σημειογραφίας για την αναπαράσταση των νέων ηχητικών υλικών, και επινόησε μια σειρά από μεθόδους για το καθάρισμα της αντίληψης από την αισθητηριακή προκατάληψη και το συντονισμό της με τις συχνότητες του κόσμου. [Schaffer, 1976]

1.3.2 Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στη μελέτη του ήχου στα Bell Laboratories

Αν τον 19ο αιώνα η μελέτη των ψυχοακουστικών φαινομένων ανήκε εξίσου στους Ευρωπαίους και τους Αμερικάνους επιστήμονες κάτι τέτοιο δεν ίσχυε για τον 20ο όπου το μεγαλύτερο μέρος των ανακαλύψεων έγιναν σε αμερικάνικο έδαφος. Σε αυτό συνετέλεσαν, μεταξύ άλλων, οι δύο παγκόσμιοι πόλεμοι από τις ολέθριες συνέπειες των οποίων οι Ευρωπαίοι, νικητές και ηττημένοι εξίσου, καθυστέρησαν πολύ να ορθοποδήσουν. Έτσι, στον τομέα της ψυχοακουστικής και της ακουστικής το μεγαλύτερο μέρος της προόδου έγινε από τους φυσικούς και τους μηχανικούς που δραστηριοποιούνταν στα Bell Laboratories, το ερευνητικό τμήμα της εταιρείας American Telephone & Telegraph (AT&T) το οποίο άρχισε τη δραστηριότητά του το 1925. Η εταιρεία, χρηματοδοτούμενη από την κυβέρνηση αποτελούσε το μονοπώλιο του δικτύου τηλεφωνίας των Ηνωμένων Πολιτειών [Yost, 2015, 49]. Από τους ίδιους επιστήμονες έγινε μετά από λίγα χρόνια και η ίδρυση της Acoustical Society of America (ASA), ενός κεντρικού θεσμού που έγινε ο ρυθμιστής στο μεγαλύτερο μέρος του ψυχοακουστικού πεδίου έρευνας της Αμερικής, κάτι που ισχύει μέχρι και σήμερα.

Οι ανάγκες του πολέμου ήταν αυτό που οδήγησε την αμερικάνικη κυβέρνηση να επενδύσει τεράστιες ποσότητες ενέργειας και χρημάτων στη μελέτη της ακουστικής. Όπως έχει συμβεί αμέτρητες φορές στην Ιστορία η κινητήριος δύναμη της επιστήμης προερχόταν από την πολεμική μηχανή. Οι ανάγκες που προέκυπταν από τη χρήση των υποβρυχίων, των ραντάρ και των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας ώθησε επιστήμονες στα Bell Laboratories να μελετήσουν πλήθος ακουστικών και ψυχοακουστικών φαινομένων απομακρύνοντας ταυτόχρονα την έρευνα από ερωτήματα που αφορούσαν την αντίληψη του ήχου ως αισθητική εμπειρία.

Στη διάρκεια της θητείας του φυσικού Harvey Fletcher (1881-1984), ο οποίος ήταν διευθυντής του τμήματος ακουστικής έρευνας, σημειώθηκαν πολλές από τις βασικότερες έρευνες της σύγχρονης ψυχοακουστικής καθιστώντας τον εμβληματική προσωπικότητα του πεδίου. Τα αποτελέσματα των ερευνών αφορούσαν μεταξύ άλλων τα όρια της ακουστικής δυνατότητας του ανθρώπου (το οποίο θα οδηγούσε στο audiogram το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα στην ακοολογία), το φαινόμενο της κάλυψης των τονικών ήχων αλλά και την κάλυψη θορύβου, τη

articulation index, το κρίσιμο εύρος, και τις ισοσταθμικές καμπύλες ακουστότητας. [Yost, 2015, 49]. Ένα ακόμη εκτενές πεδίο στη μελέτη του ήχου που εγκαινιάστηκε στα Bell Laboratories τη δεκαετία του 60 ήταν εκείνο της ψηφιακής ανάλυσης και σύνθεσης του ήχου. Ο Max Mathews απέδειξε το 1957 ότι οποιοσδήποτε ήχος θα μπορούσε να ανασυντεθεί με τη χρήση υπολογιστών και των μεθόδων της σύνθεσης Fourier, ανακάλυψη που θα απελευθέρωνε τις μουσικές δυνατότητες των υπολογιστών. Η ψηφιακή διαχείριση του ήχου έδωσε χώρο σε πολλά εργαλεία που επέτρεπαν τη δημιουργία και την επεξεργασία ήχου εξ ολοκλήρου μέσω υπολογιστή. Το πρώτο λογισμικό γι' αυτό τον σκοπό ήταν το MUSIC I το οποίο μπορούσε να παράξει έναν τονικό ήχο τριγωνοειδούς κυματομορφής.

Επιπλέον, στη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου αναπτύχθηκε η Θεωρία Ανίχνευσης Σήματος (Signal Detection Theory) η οποία βασιζόταν στη στατιστική θεωρία αποφάσεων. Οι χειριστές των ραντάρ και των συστημάτων σόναρ έπρεπε να αξιολογούν σήματα τα οποία πέραν του ότι ήταν ιδιαίτερα ασθενή καλύπτονταν επίσης από ισχυρό θόρυβο. Έτσι, η θεωρία αυτή επιχειρούσε να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις σε μεταβλητές καταστάσεις υψηλής αβεβαιότητας παρουσιάζοντας ένα μοντέλο ιδανικού παρατηρητή. Στα Bell Laboratories ο David Green και τον John Swets (1928-2016) εφάρμοσαν και επέκτειναν την Θεωρία Ανίχνευσης Σήματος στο πεδίο της ψυχοακουστικής. Στο πεδίο της εμπειρικής ψυχολογίας η θεωρία αυτή είχε εν μέρει ως σκοπό να βελτιώσει τη μεθοδολογία των προγενέστερων μοντέλων όπως είχαν διαμορφωθεί από τον Fechner και τους θεμελιωτές της ψυχοφυσικής. Η ανάπτυξη της Θεωρίας Ανίχνευσης Σήματος αντανάκλα την επικράτηση του συμπεριφορισμού στην ψυχολογία. Σύμφωνα με τον συμπεριφορισμό, ο οποίος προσωποποιούνταν στις θεωρίες του ψυχολόγου B. F. Skinner (1904-1990), κάθε συμπεριφορά ήταν αποτέλεσμα μεμονωμένων δράσεων ενώ όλα τα επιμέρους στοιχεία στη λειτουργία της συμπεριφοράς του ανθρώπου όφειλαν να οριστούν αυστηρά και να ποσοτικοποιηθούν χωρίς να βασίζονται στην περιγραφή τους σε μη παρατηρούμενα μεγέθη όπως είναι η γνωστική λειτουργία του εγκεφάλου. Έτσι, ο συμπεριφορισμός επηρέασε σημαντικά και την ψυχοακουστική έρευνα η οποία απομακρύνθηκε από τη νευρολογική διάσταση της γνωστικής λειτουργίας του εγκεφάλου στην αντίληψη του ήχου. [Nadal & Pearce, 2011, 173] Εντούτοις, η ακρίβεια των δεδομένων που συλλέγονταν με τις μεθόδους της Θεωρίας Ανίχνευσης Σήματος ξεπερνούσε οποιαδήποτε προηγούμενη ψυχοφυσική έρευνα και γι' αυτό τον λόγο υπήρξε τόσο επιδραστική [Yost, 2015, 50].

1.3.3 Η γέννηση της νευροεπιστημονικής θεώρησης του ήχου

Πέραν της συμπεριφοριστικής στροφής των εμπειρικών ψυχολόγων, οι νευροεπιστήμονες δεν σταμάτησαν από την πλευρά τους να ασχολούνται με ζητήματα νευροαισθητικού χαρακτήρα αναζητώντας τις διαδικασίες των αισθητικών συμπεριφορών στη γνωστική λειτουργία του εγκεφάλου. Σε αυτό βοήθησαν έρευνες σχετικά με κατά ποιον τρόπο επηρεαζόταν η δημιουργικότητα και η αισθητική αντίληψη ανθρώπων που είχαν υποστεί κάποια εγκεφαλική βλάβη. Μέχρι την ανάπτυξη των μη επεμβατικών νευροαπεικονιστικών μεθόδων το μεγαλύτερο μέρος των γνώσεων μας για τις αντιληπτικές λειτουργίες του ανθρώπου προήλθαν από εγκεφάλους με δυσλειτουργίες, μεταξύ των οποίων ανθρώπους τραυματισμένους από τους δύο παγκόσμιους πολέμους. [Nadal & Pearce, 2011] Η ίδια η ανάπτυξη της μεθόδου της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (electroencephalography, EEG) στις αρχές του 20ου αιώνα από τον Γερμανό ψυχίατρο Hans Berger (1873-1941) έγινε μετά από συστηματική μελέτη τραυματιών του πρώτου παγκοσμίου πολέμου. Ο Berger παρατήρησε ότι η μέτρηση των διαφορών ηλεκτρικού δυναμικού στο ανθρώπινο κρανίο θα πρέπει να οφείλεται στην δραστηριότητα των νευρικών κυττάρων και ότι μπορεί να διαχωριστεί από τους μυϊκούς σπασμούς και τη ροή του αίματος, Επομένως, θα ήταν δυνατό να αντληθούν πληροφορίες από τη μέτρηση και τη σύγκριση των τιμών αυτών [Haas, 2009, 14].

Η τελειοποίηση της μεθόδου της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας καθυστέρησε αρκετές δεκαετίες ενώ αρχικά τα δεδομένα που συλλέγονταν από τις ηλεκτροεγκεφαλικές μετρήσεις ήταν τόσα πολλά σε αριθμό ώστε χωρίς την υπολογιστική δύναμη που θα παρείχαν οι υπολογιστές στο μέλλον δεν μπορούσαν να τα επεξεργαστούν και να τα αξιοποιήσουν. [Haas, 2009, 3]

1.4 Η διεπιστημονική θεώρηση του ήχου στον 21ο αιώνα

Η μελέτη του ήχου στον 21ο αιώνα έχει πάψει να αποτελεί μεμονωμένο αντικείμενο έρευνας των διαφορετικών επιστημονικών πεδίων. Οι γνώσεις που προέρχονται από όλα τα προαναφερόμενα πεδία έρευνας έβρισκαν ένα κοινό τόπο στο νέο πεδίο της νευροεπιστήμης εφόσον στον εγκέφαλο εντοπίζονται οι τελικές απαντήσεις για τα ερωτήματα που αφορούν τον ήχο. Έτσι, σύμφωνα με μια σύγχρονη θεώρηση δεν μπορεί να γίνει αναφορά στη μουσική διάσταση του ήχου χωρίς να λάβουμε υπόψη τη μουσική λειτουργία του εγκεφάλου. Η διερεύνηση για την αντίληψη του ήχου γίνεται πλέον στη βάση της γνωστικής λειτουργίας του δέκτη.

1.4.1 Το πεδίο της Νευροαισθητικής μελέτης του ήχου

Η νευροαισθητική, συνιστά ένα νεοσύστατο πεδίο των νευροεπιστημών. Με την ανάπτυξη της νευροεπιστήμης και των μεθόδων απεικόνισης της εγκεφαλική λειτουργίας ανανεώθηκε το ενδιαφέρον των ερευνητών για τη σύνδεση μεταξύ της ψυχολογίας, της βιολογίας και της εμπλοκής συγκεκριμένων περιοχών του εγκεφάλου στις διαδικασίες της αντίληψης και της γνωστικής λειτουργίας. Με τις εργασίες του Berlyne επανήλθε στο προσκήνιο η προσέγγιση της εμπειρικής αισθητικής που είχε θεμελιώσει ο Fechner στη βάση της ψυχοβιολογίας. [Berlyne, 1971/1974] Ταυτοχρόνως, με την ανακάλυψη του μηχανισμού Λειτουργικής Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού (fMRI) στα Bell Laboratories τη δεκαετία του 1990 αλλά και την κατακόρυφη αύξηση της επεξεργαστικής δυνατότητας των υπολογιστών ως προς την διαχείριση των δεδομένων η σύνδεση αυτή ήταν πλέον εφικτή. [Ogawa, 1990]

Ο όρος “νευροαισθητική” εισήχθη πρώτη φορά από τον Zeki [Keller, 2013] κατά τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο ο εγκέφαλος επεξεργάζεται το έργο τέχνης και του αποδίδει αισθητική αξία [Zeki, 1998]. Αν και αρχικά οι μελέτες αφορούσαν τις οπτικές τέχνες, το πεδίο της νευροαισθητικής αναπτύσσεται έκτοτε, τις τελευταίες δύο δεκαετίες, συμπεριλαμβάνοντας σταδιακά όλο και περισσότερες εκφάνσεις της αισθητικής συμπεριφοράς και της αντίληψης, μεταξύ των οποίων είναι αυτή της αντίληψης του ήχου [Nadal & Pearce, 2011, 173] Μολονότι το πεδίο της νευροαισθητικής είναι σχετικά καινούργιο και οι πρακτικές του απαιτούσαν τεχνολογικά μέσα που μόνο πρόσφατα ήταν διαθέσιμα, ουσιαστικά είχε αρχίσει να διαμορφώνεται από τη στιγμή όπου επιστήμονες, ψυχολόγοι και φιλόσοφοι διέκριναν μια βιολογική διάσταση στην αισθητική συμπεριφορά του ανθρώπου η οποία θα έπρεπε να αναζητηθεί στον ανθρώπινο εγκέφαλο και στον τρόπο που αλληλεπιδρά με την εμπειρία.

Ήδη από το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα, με τη θεμελίωση της εξελικτικής βιολογίας από τον Δαρβίνο επανήλθε η ιδέα της βιολογικής βάσης των αισθητικών συμπεριφορών του ανθρώπου [Darwin (1859/1991)] Η έννοια της φυσικής επιλογής ως καθοριστικού παράγοντα στην εξέλιξη των ειδών και ως λειτουργίας που διέπει την επιλογή του ερωτικού συντρόφου θα αποτελούσε έκτοτε ένα απαραίτητο στοιχείο μιας αισθητικής θεωρίας που θα βασίζεται στην εμπειρία. Επιπλέον, με το κλείσιμο του 20ου αιώνα, η νευροεπιστημονική θεώρηση του φαινομένου προτάθηκε από τον Αμερικάνο ψυχολόγο H.R. Marshal (1852-1927) επανέφερε τη θεώρηση των Βρετανών εμπειριστών ότι η αισθητική εμπειρία θα έπρεπε να είναι αποτέλεσμα νευρικών διαδικασιών. [Marshal, 1894] Υπ’ αυτή την ευρεία έννοια, η καταγωγή της νευροαισθητικής θα μπορούσε να εντοπιστεί στις υποθέσεις π.χ. των προαναφερθέντων Burke, Δαρβίνου και Fechner

αλλά και όλων εκείνων που έδειχναν εξαρχής σε αυτή την κατεύθυνση. [Nadal & Pearce, 2011, 172]

Οι συζητήσεις για τον ακριβή ορισμό της νευροαισθητικής δεν έχουν τελεσιδικήσει ακόμη, δεδομένου ότι το πεδίο ενδιαφέροντος και εφαρμογής αλλά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται αντλούν από ένα σύνολο επιστημών που ποτέ προηγουμένως δεν είχαν συνδιαλλαγεί. Με τις εργασίες ωστόσο αρκετών νευροεπιστημόνων έχει πλέον καθιερωθεί ως ένα αυτόνομο πεδίο της γνωστικής νευροεπιστήμης. [Levitin & Tironolas, 2009; Peretz & Zatorre, 2003].

Ταυτόχρονα, το γεγονός ότι οι λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι ακόμη ελάχιστα γνωστές, τουλάχιστον ως προς τη συνολική εικόνα τους, καθιστά ακόμη πιο δύσκολη την αποσαφήνιση των ορίων της νευροαισθητικής και έτσι το πεδίο βρίσκεται ακόμη υπό διαμόρφωση. Το παραπάνω γίνεται άλλωστε φανερό από τα αποτελέσματα του διεθνούς συνεδρίου Νευροαισθητικής που έλαβε χώρα το 2009 στην Κοπεγχάγη [Nadal & Pearce, 2011, 172]. Ένας γενικός ορισμός που θα μπορούσε να στεγάσει το ετερόκλητο πλήθος των επιστημόνων που δραστηριοποιούνται στα ευρεία όρια του πεδίου της νευροαισθητικής είναι ο εξής: η μελέτη της νευρικής και εξελικτικής βάσης των εμπλεκόμενων αντιληπτικών και συναισθηματικών διαδικασιών όταν το άτομο αντιμετωπίζει σε αισθητικό ή καλλιτεχνικό επίπεδο ένα αντικείμενο τέχνης, ένα μη-καλλιτεχνικό αντικείμενο ή ένα φυσικό φαινόμενο. [Nadal & Pearce, 2011, 174]

Οι μέθοδοι της Νευροαισθητικής είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της εγκεφαλικής λειτουργίας σε συνδυασμό με τη διεξαγωγή ψυχοφυσικών πειραμάτων με τη ενεργή συμμετοχή ανθρώπων. Έτσι, τα βασικά εργαλεία διερεύνησης για την αντίληψη του ήχου είναι εκείνα της νευροεπιστήμης δηλαδή οι νευροαπεικονιστικές μέθοδοι της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, η fMRI, αλλά και η μελέτη της αντίδρασης της κόρης του ματιού (pupillometry). Τα αποτελέσματα των απεικονιστικών αυτών μεθόδων συσχετίζονται κατόπιν με γνωστά αποτελέσματα της εμπειρικής ψυχολογίας, της ψυχοακουστικής και της βιολογίας για να δώσουν μια κατά το δυνατόν συνολική εικόνα ως προς τις επιμέρους λειτουργίες της πολύπλοκης γνωστικής διαδικασίας. Επομένως, ο κύριος σκοπός της νευροαισθητικής που τη διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα πεδία έρευνας της αντίληψης του ήχου είναι ο συσχετισμός των διαφορετικών μεγεθών που προκύπτουν αλλά και η διαμόρφωση του κατάλληλου πλαισίου ώστε ο συσχετισμός να οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα.

Έτσι, τις τελευταίες δεκαετίες, στο πεδίο της νευροαισθητικής έχουν γίνει πλήθος ερευνών για τη μελέτη των αντιδράσεων του ανθρώπου σε σχέση με την αντίληψη του ήχου και ειδικότερα στην μουσική αντίληψη. Η κύρια κατεύθυνση έρευνας αναζητά τον τρόπο με τον οποίο ο εγκέφαλος μεταφράζει το ηχητικό ερέθισμα στα διαφορετικά στάδια της επεξεργασίας του. Έτσι, οι επιμέρους έρευνες αυτής της κατεύθυνσης αφορούν, μεταξύ άλλων, στο συναισθηματικό αντίκτυπο

που έχουν οι διαφορετικοί ήχοι στον άνθρωπο, στην αισθητική αξιολόγηση των μουσικών ήχων, στην επίδραση των ενοχλητικών ή και αποκρουστικών ήχων, στον τρόπο με τον οποίο οι ήχοι επηρεάζουν τους ανθρώπους σε σωματικό επίπεδο. [Hodges, 2008] Ταυτόχρονα, το ενδιαφέρον των ερευνητών στρέφεται στη σχέση μεταξύ της καταγωγής της μουσικής επινόησης από τον άνθρωπο και της λειτουργίας της ομιλίας και της γλώσσας, τόσο σε εξελικτικό όσο και σε λειτουργικό επίπεδο. [Levitin, 2009, 211]

Οι νευροαισθητική έρευνα για τη μουσική αντίληψη εξετάζει συμπεριφορές που σχετίζονται με την ακρόαση, τη μνήμη, τη δημιουργία κατά τη σύνθεση ενός μουσικού έργου, την εκτέλεση ενός έργου, την εκμάθηση αλλά και τη θεραπεία. Οι έρευνες αυτές έχουν άλλες φορές, ως δείγμα, ανθρώπους με υγιές ακουστικό σύστημα ενώ, αλλού, αντλούν τα συμπεράσματα τους από την εξέταση περιπτώσεων όπου το ακουστικό σύστημα ή ο ανθρώπινος εγκέφαλος παρουσιάζει κάποια δυσλειτουργία. Η εξέταση τέτοιων περιπτώσεων αποτελεί σημαντική πηγή πληροφοριών διότι υποδεικνύει συνδέσεις μεταξύ φυσικών λειτουργιών οι οποίες διαφορετικά θα ήταν ανέφικτο να εντοπιστούν. [Nadal & Pearce, 2011]

Ωστόσο, οι νευροαισθητικές έρευνες παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες ως προς την εξασφάλιση της εγκυρότητας των συμπερασμάτων εξαιτίας των περιορισμών που συνεπάγεται ο υποκειμενικός χαρακτήρας των αποτελεσμάτων αλλά και των συνθηκών στις οποίες διενεργούνται. Η επίδραση του ήχου φαίνεται να εξαρτάται από παράγοντες που διαφέρουν από άνθρωπο σε άνθρωπο, παράγοντες που έχουν να κάνουν με το πολιτισμικό υπόβαθρο, με την ψυχολογική κατάσταση, με την εξοικείωση με τον ήχο, με την μουσική του καλλιέργειά του κ.ο.κ. [Halpern et al., 2008] Επιπλέον, κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, τα διαφορετικά υποκείμενα καλούνται να αξιολογήσουν ερεθίσματα τα οποία είναι προσχεδιασμένα, σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα τα οποία είναι άγνωστο σε ποιο βαθμό επηρεάζουν την έκβαση του πειράματος. [Nadal, 2011, 174]

Αν και η επίδραση του ήχου στον άνθρωπο είναι μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία εξαρτάται από πολλές αλληλοεξαρτώμενες παραμέτρους της γνωστικής λειτουργίας οι οποίες δεν είναι ακόμη αποσαφηνισμένες πλήρως, από την άλλη πλευρά, φαίνεται ότι το νέο αυτό πεδίο έρευνας υπόσχεται να δώσει απαντήσεις για τις διαστάσεις εκείνες του ήχου που απασχόλησαν φιλοσόφους και επιστήμονες από την αρχαιότητα.

2. Επιστημολογικές διαστάσεις της θεώρησης του ήχου

Ο ήχος, όπως προαναφέρθηκε, έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης αρκετών διαφορετικών επιστημών και ψευδοεπιστημών, φέρ' ειπείν της Φυσικής, της Ακουστικής, της Ψυχοακουστικής, της Φυσιολογίας, της Νευροεπιστήμης κ.ο.κ. Έτσι, στην εκάστοτε περίπτωση, ο ήχος περιγράφεται με διαφορετικούς όρους και επομένως του αποδίδονται τα χαρακτηριστικά που εξυπηρετούν αυτή την περιγραφή. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, αξιοποιώντας τα ευρήματα των παραπάνω διαφορετικών πεδίων έρευνας παρουσιάζονται διαφορετικές πτυχές της αντίληψης του ήχου. Αυτές περιλαμβάνουν τα αντικειμενικά και υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου, το ακουστικό σύστημα του ανθρώπου και τα διαφορετικά επίπεδα επεξεργασίας του ήχου από τον ανθρώπινο εγκέφαλο όπως προκύπτουν μέσα από νευροαπεικονιστικές μεθόδους.

2.1 Μουσική Ακουστική, Ψυχοακουστική και Ακουστική Χώρων

Ο ήχος διαθέτει αντικειμενικά και υποκειμενικά χαρακτηριστικά. Τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά –τα οποία μπορούν να είναι ποσοτικά αλλά και ποιοτικά– αποτελούν αντικείμενο μελέτης της ακουστικής και στο πέρασμα των χρόνων οι επιστήμονες βρήκαν τρόπους ώστε να μπορέσουν να τα μετρήσουν και να τα μελετήσουν συστηματικά. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου αποτελούν αντικείμενο μελέτης της Ψυχοακουστικής. Η Ψυχοακουστική, λόγω της φύσης των χαρακτηριστικών η οποία είναι υποκειμενική και ψυχολογική, αντλεί γνώση γι' αυτά μέσω στατιστικών πειραμάτων και μαθηματικών μοντέλων που αντλούν από τη στατιστική θεωρία αποφάσεων (βλ. Θεωρία Ανίχνευσης Σήματος). Αυτές οι μέθοδοι αποτέλεσαν τον μοναδικό τρόπο έρευνας μέχρι και τα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Ωστόσο, με την εξέλιξη των νευροεπιστημών και των εργαλείων για τη μελέτη της λειτουργίας του εγκεφάλου, υπάρχουν επιπλέον τρόποι ώστε να μετρηθεί και να μελετηθεί η επίδραση αυτών των μεγεθών στον άνθρωπο συνδέοντας τις γνώσεις για τη δραστηριότητα συγκεκριμένων εγκεφαλικών περιοχών με την ανάλυση των επιμέρους χαρακτηριστικών του ηχητικού ερεθίσματος.

Συνοπτικά, τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι η συχνότητα, η ένταση, το αρμονικό φάσμα, η διάρκεια, η δυναμική περιβάλλουσα και η θέση της πηγής στο χώρο. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά είναι η ακουστότητα (loudness), η τονικότητα (pitch), το ηχόχρωμα (timbre), η υποκειμενική διάρκεια αλλά και ο εντοπισμός του ήχου στον χώρο [Γεωργάκη, 2016, 10]. Κάθε υποκειμενικό χαρακτηριστικό ενός ήχου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τα αντικειμενικά του χαρακτηριστικά, τα υπόλοιπα υποκειμενικά χαρακτηριστικά αλλά και το

συνδυασμό τους, και δεν είναι αρκετό να υποθέσει κανείς ότι φέρ' ειπείν η ακουστότητα σχετίζεται μόνο με την ένταση ή ότι το τονικό ύψος σχετίζεται μόνο με τη συχνότητα, όπως θα δούμε και στη συνέχεια.

Αυτά τα χαρακτηριστικά αλλά και οι μέθοδοι μέτρησης και παρατήρησης που σχετίζονται με αυτά, θα αποτελέσουν τα εννοιολογικά και μεθοδολογικά εργαλεία για την ανάπτυξη της θεματικής της εργασίας, δηλαδή των διαδικασιών που διαμορφώνουν και τελικά καθορίζουν τι αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος ως αρμονικό και τι ως δυσαρμονικό.

2.1.1 Μουσική Ακουστική και αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

Από τη σκοπιά της Φυσικής, ο ήχος είναι μια μορφή μετάδοσης ενέργειας, μέσω της διαταραχής των μορίων του αέρα, που εκδηλώνεται με τη μορφή εγκάρσιων κυμάτων. Το ηχητικό κύμα παράγεται, όταν μια διαταραχή έχει αρκετή δύναμη ώστε να συμπιέσει τα ατομικά σωματίδια του αέρα. Κατόπιν, αυτά τα σωματίδια μεταφέρουν ενέργεια στα γειτονικά σωματίδια, την οποία τα τελευταία μεταφέρουν σε γειτονικά σωματίδια κ.ο.κ. Έτσι δημιουργείται μια μεταφορά ενέργειας με τη μορφή ηχητικού κύματος η οποία εκκινεί από το σημείο της αρχικής διαταραχής και μεταδίδεται μέσω αλληπάλληλων συμπυκνώσεων και αραιώσεων μεταξύ των σωματιδίων.

Κάθε ήχος χαρακτηρίζεται από την κυματομορφή του, δηλαδή την ανάπτυξη του στο χρόνο, η οποία μπορεί να είναι περιοδική ή μη. Ανάλογα με την κυματομορφή τους οι ήχοι μπορούν να διαχωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες α) απλούς, με ημιτονοειδή περιοδική κυματομορφή, β) σύνθετους, με μη-ημιτονοειδή περιοδική κυματομορφή, γ) θόρυβο, με μη περιοδική κυματομορφή και δ) κρότους, δηλαδή θορύβους μικρής χρονικής διάρκειας.

Οι ήχοι που προσλαμβάνει ο άνθρωπος από το περιβάλλον του χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους ήχους της Φύσης –είτε αυτοί είναι ήχοι φυσικών φαινομένων είτε προέρχονται από ζώα ή πτηνά– και τους ήχους που προέρχονται από τον άνθρωπο ή τις δραστηριότητές του, π.χ. την ομιλία ή τους τεχνητούς ήχους. Οι ήχοι αυτοί μπορεί να είναι τονικοί και μη τονικοί. Οι τονικοί ήχοι απαντώνται στο φυσικό περιβάλλον, σχεδόν αποκλειστικά, στα συστήματα επικοινωνίας των έμβιων όντων της πανίδας μεταξύ των οποίων και ο άνθρωπος.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός απλού ήχου με περιοδική ημιτονοειδή κυματομορφή, είναι το πλάτος της ταλάντωσης, η περίοδος (ή αλλιώς συχνότητα), το μήκος κύματος και η αρχική φάση. Το πλάτος είναι η μέγιστη απομάκρυνση στην ταλάντωση του ηχητικού κύματος και συνδέεται με την ένταση του ήχου. Ως περίοδος ορίζεται το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ώστε το κύμα να φθάσει από τη μία “κορυφή” (δηλαδή συμπύκνωση) του στην επόμενη. Αν αυτό το

χρονικό διάστημα είναι αρκετά μικρό, δηλαδή μικρότερο από ένα 1/20 του δευτερολέπτου, τότε ο ήχος μπορεί να γίνει αντιληπτός από το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα. Έτσι, με αυτό τον τρόπο, από την περίοδο μπορούμε να εξάγουμε τη συχνότητα του κύματος η οποία ορίζεται ως ο αριθμός των συμπυκνώσεων σε διάστημα ενός δευτερολέπτου. Ως μήκος κύματος ορίζεται η απόσταση που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικές συμπυκνώσεις. Τέλος, η φάση είναι η θέση της ταλάντωσης κάθε δεδομένη χρονική στιγμή μέσα στην περίοδο. [Γεωργάκη, 2016, 8]

2.1.1.1 Η συχνότητα

Κάθε ήχος έχει μια θεμελιώδη συχνότητα η οποία μετριέται σε Hz. Η συχνότητα επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την τονικότητα που αντιλαμβάνεται σε έναν ήχο ο άνθρωπος. Η συχνότητα είναι εκείνο το χαρακτηριστικό του ήχου που συνδέεται με τη μουσικότητά του.

Για να αντιληφθεί ένας άνθρωπος τη διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων δύο ήχων πρέπει αυτή η διαφορά να είναι μεγαλύτερη από ένα μέγεθος που ονομάζεται just noticeable difference (jnd). Αυτό το μέγεθος έχει μετρηθεί με ψυχοφυσικές μελέτες και είναι το όριο πέρα από το οποίο ένα αισθητήριο όργανο αντιλαμβάνεται ένα ερέθισμα ως διαφορετικό από ένα άλλο. Για την ακοή, το jnd εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως το τονικό ύψος του ήχου αλλά και την ένταση. Σε ένα μεσαίο εύρος συχνοτήτων αυτό το μέγεθος αντιστοιχεί περίπου στο 0,5% της συχνότητας, (ή αλλιώς στο 1/12 του ημιτονίου).

Κατά σύμβαση, στη Δυτική Μουσική, οι φθόγγοι αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες συχνότητες. Ωστόσο, η αντιστοιχία αυτή άλλαξε πολλές μορφές μέχρι να σταθεροποιηθεί τον 18ο αιώνα και να οριστεί ως συχνότητα αναφοράς το μεσαίο Λα (ή αλλιώς A₀), ίσο με 440 Hz.

Μια ακόμη μουσική διάσταση της συχνότητας είναι η ομοιότητα των ήχων διαφορετικών συχνοτήτων. Η χαρακτηριστική ομοιότητα δύο ήχων, εκ των οποίων ο ένας έχει διπλάσια συχνότητα από τον άλλο, ορίζει την απόσταση της οκτάβας στη Μουσική. Οι φθόγγοι που απέχουν μεταξύ τους διάστημα μιας οκτάβας παίρνουν το ίδιο όνομα συνοδευόμενο από ένα δείκτη που τους τοποθετεί στο κατάλληλο τονικό ύψος.

Οι υπόλοιπες συχνότητες-φθόγγοι προκύπτουν από το καθιερωμένο σύστημα των ίσων πολλαπλασίων (equal temperament) το οποίο διαιρεί την οκτάβα σε 12 διαστήματα που ονομάζονται ημιτόνια και είναι βαθμονομημένα σε μια λογαριθμική κλίμακα με βάση το 2. Η απόσταση μεταξύ δύο φθόγγων που οι συχνότητες τους διαφέρουν κατά ένα ημιτόνιο έχει οριστεί ως ένας λόγος συχνοτήτων της τάξεως του $2^{1/12} = 1.059$ [ASA Standards, 12.23] Η διαίρεση της

οκτάβας με υποσύνολα φθόγγων ενδιάμεσων συχνοτήτων δημιουργεί μια κλίμακα. Αυτές οι συμβάσεις τηρούνται ώστε τα φυσικά όργανα να μπορούν να κουρδίζουν σε ένα κοινό σύστημα.

Τα τελευταία 50 χρόνια αρκετοί επιστήμονες ακουστικής έχουν συστηματοποιήσει τη Μουσική Ακουστική και τις εφαρμογές της στη μουσική δημιουργία. Εξέχουσες περιπτώσεις αποτελούν ο Backus, ο Hall και ο Benade οι οποίοι συγκέντρωσαν το σύνολο της Δυτικής Μουσικής σε εγχειρίδια. Με την ανάπτυξη της πληροφορικής υπάρχει πλέον η δυνατότητα μελέτης διαφορετικών μουσικών συστημάτων και διαίρεσης συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μουσικής διευρύνοντας τα όρια της αρμονικότητας των ήχων.

Από την άλλη πλευρά, κανένας από τους ήχους που απαντώνται στο περιβάλλον του ανθρώπου δεν αποτελείται μόνο από τη θεμελιώδη συχνότητα του, παρά το γεγονός ότι το ακουστικό σύστημα μπορεί να τους αποδώσει μια τονικότητα. Η ήχοι που αποτελούνται μόνο από τη θεμελιώδη συχνότητα είναι η ιδανική περίπτωση των απλών περιοδικών ήχων με ημιτονοειδή κυματομορφή. Η χρήση των τονικών ήχων από τους επιστήμονες για τη μελέτη της ακουστικής και της ακρόασης γίνεται καθαρά για λόγους απλότητας και ευκολίας στη σύλληψη και τους υπολογισμούς [Purves, 2017, 12-13]. Τέτοιοι ήχοι μπορούν να παραχθούν μόνο τεχνητά είτε με μηχανικά μέσα –π.χ. όπως αναφέραμε παραπάνω προσεγγιστικά με το διαπασών–, είτε με ηλεκτρικά κυκλώματα παραγωγής ήχου, είτε με ψηφιακά μέσα όπου ο ήχος παράγεται από έναν υπολογιστή. Στην πραγματικότητα, οι ήχοι του περιβάλλοντος είναι συνήθως είτε σύνθετοι, είτε θόρυβος είτε κρότοι και κυρίως συνδυασμός όλων των προηγουμένων.

2.1.1.2 Η ένταση

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του ήχου είναι η έντασή του, η οποία σχετίζεται με διαφορετικά μεγέθη. Η ένταση μπορεί να έχει διαφορετικές περιγραφές ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο εξετάζεται. Έτσι, η ένταση ιδωμένη από την σκοπιά της πηγής του ήχου ορίζεται ως η Στάθμη Ισχύος η οποία ισούται με τη συνολική ισχύς που εκπέμπεται προς κάθε κατεύθυνση, ή η Στάθμη Ηχητικής Έντασης, η οποία ισούται με τη ροή της ενέργειας του ηχητικού κύματος ανά μονάδα επιφάνειας. [Γεωργάκη, 2016]. Από τη σκοπιά του δέκτη, η ένταση που προσλαμβάνεται περιγράφεται από τη Στάθμη Ηχητικής Πίεσης. Η σχέση μεταξύ της Ηχητικής Πίεσης και της Ηχητικής Έντασης εξαρτάται από τη γεωμετρία του χώρου και της πηγής και παίζει σημαντικό ρόλο στην Ακουστική Χώρων.

2.1.1.2.α Στάθμη Ηχητικής Πίεσης

Το πιο σύνηθες μέγεθος περιγραφής της έντασης είναι εκείνο της ηχητικής πίεσης διότι είναι εκείνο το οποίο μπορεί να υπολογιστεί από τα όργανα μέτρησης. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ο ήχος είναι μια διαταραχή της πίεσης του αέρα και το ακουστικό σύστημα είναι κατασκευασμένο να αντιδρά σ' αυτή τη διακύμανση των τιμών της πίεσης. Η ένταση του ήχου ως φυσικό μέγεθος μετριέται σε μονάδες πίεσης, δηλαδή μονάδες δύναμης ανά επιφάνεια πρόσληψης (N/m^2). Αυτή η επιφάνεια πρόσληψης στην περίπτωση του ανθρώπινου ακουστικού συστήματος είναι το τύμπανο. Το ακουστικό σύστημα των διάφορων έμβιων όντων αντιδρά σε διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων και διαφορετικό εύρος εντάσεων. Για έναν άνθρωπο με υγιές ακουστικό σύστημα η ελάχιστη ένταση στην οποία ενεργοποιείται η αίσθηση της ακοής υπολογίζεται στα $2 \times 10^{-5} N/m^2$ για ήχους συχνότητας 1000 Hz και ονομάζεται κατώφλι ακοής (absolute threshold).

Η διαφοροποίηση της πίεσης ενός ήχου από το κατώφλι ακοής μέχρι το όριο του πόνου μπορεί να είναι και ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη επομένως η βαθμονόμηση της σε N/m^2 είναι δύσχρηστη. Έτσι, η ηχητική πίεση μετριέται στην κλίμακα των decibel και έχει “βαθμονομηθεί” με βάση την ανθρώπινη ακοή. Με άλλα λόγια, μέσω της κλίμακας decibel μετράμε την ένταση ενός ήχου, ως ηχητική πίεση, συγκρίνοντας τη με την ένταση αναφοράς η οποία είναι το κατώφλι της ανθρώπινης ακοής. Έτσι, τα 0 decibel αντιστοιχούν στην προαναφερθείσα πίεση ήχου $2 \times 10^{-5} N/m^2$. Μέσω της κλίμακας αυτής μπορούμε να μετρήσουμε τη στάθμη πίεσης ήχου (Sound Pressure Level ή αλλιώς SPL) μέσω του μαθηματικού τύπου:

$$L_p = 20 \log \frac{p_1}{p_2} [dB]$$

Δεδομένου ότι τα διάφορα είδη έμβιων όντων έχουν διαφορετικά φάσματα στα οποία προσλαμβάνουν τους ήχους, η κλίμακα έχει θεσπιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει νόημα για τον άνθρωπο. [Γεωργάκη, 2016, 10]

Η SPL μετριέται μέσω μικροφώνου και ενισχυτή, δηλαδή μετρητή στάθμης ήχου βαθμονομημένο σε decibel. Για ένα ελεύθερο πεδίο χωρίς επιφάνειες ανάκλασης, η ηχητική πίεση μειώνεται κατά 6 decibel κάθε που η απόσταση από την πηγή διπλασιάζεται.

2.1.1.3 Διάρκεια

Πέρα από τα χαρακτηριστικά του ηχητικού κύματος, ένα ακόμη χαρακτηριστικό του ήχου είναι η αντικειμενική του διάρκεια, η οποία μετρείται σε μονάδες χρόνου. Αυτή είναι η διάρκεια του σε μακροσκοπική κλίμακα, δηλαδή από τη στιγμή που αρχίζει να γίνεται ακουστός μέχρι να σιωπήσει.

2.1.1.3.α Δυναμική Περιβάλλουσα

Ένα μέγεθος που συνδέεται τόσο με την ένταση όσο και τη διάρκεια του ήχου είναι εκείνο της δυναμικής περιβάλλουσας. Έτσι, κατά την παραγωγή ενός ήχου, π.χ. από ένα μουσικό όργανο, μπορεί κανείς να αναλύσει τη διάρκεια της παραγωγής του ήχου. Η παραγωγή του ήχου ουσιαστικά είναι μια ταχύτατη αυξομείωση της έντασης, σε “μικροσκοπική κλίμακα” η οποία είναι της τάξης μερικών msec μέχρι ένα 1 sec. Η διαφορά στις δύο παραπάνω διάρκειες μπορεί να γίνει κατανοητή αν συγκρίνουμε π.χ. τον συνολικό ήχο από μια αλληλουχία κρότων, για την πρώτη περίπτωση, και τον ήχο κάθε μεμονωμένου κρότου, για τη δεύτερη περίπτωση. Εδώ, στη διάρκεια εκτύλιξης του ήχου, η έντασή του διαμορφώνεται από την δυναμική περιβάλλουσα (amplitude envelope), δηλαδή τον τρόπο της εξέλιξης της έντασής του στο χρόνο.

Η δυναμική περιβάλλουσα έχει τέσσερα στάδια: το μέτωπο ή αλλιώς ατάκα (attack) –ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ο ήχος τη μέγιστη τιμή της έντασης–, την εξασθένιση ή αλλιώς πτώση (decay) –τον χρόνο που απαιτείται ώστε να μειωθεί η ένταση του ήχου στο επίπεδο σε μια χαμηλότερη τιμή–, τη διάρκεια (sustain) –την τιμή της προαναφερθείσας έντασης στην οποία ο ήχος παραμένει– και την αποδέσμευση (release) –τον χρόνο που απαιτείται ώστε ο ήχος να σβήσει τελείως.

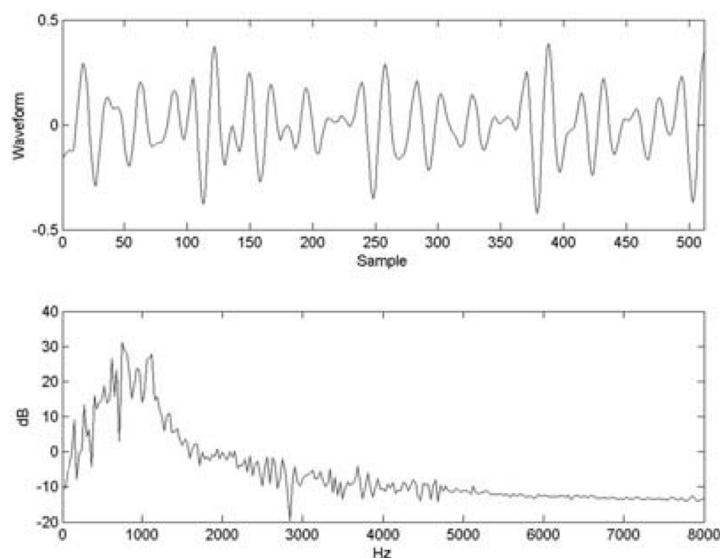
Η δυναμική περιβάλλουσα είναι χαρακτηριστική για κάθε διαφορετικό ήχο του περιβάλλοντος και είναι απαραίτητη ώστε ο άνθρωπος να αντιληφθεί και να κατηγοριοποιήσει ένα ήχο. Η δυναμική περιβάλλουσα είναι πιο εύκολα αντιληπτή στα διάφορα μουσικά όργανα με τα οποία ο άνθρωπος είναι πιο εξοικειωμένος δεδομένου ότι υπάρχει μια σύμβαση ως προς τον τρόπο με τον οποίο παίζονται και παράγουν ήχο. Έτσι, για παράδειγμα, αν αλλοιώσουμε σημαντικά τη δυναμική περιβάλλουσα από ένα ήδη γνωστό ήχο –π.χ. τον ήχο που παράγεται από ένα βιολί ή ένα πιάνο– αφαιρώντας φέρ’ ειπείν ένα από τα τέσσερα στάδιά της τότε ο ήχος αυτός δεν γίνεται αναγνωρίσιμος από τον άνθρωπο. Επομένως, η δυναμική περιβάλλουσα είναι ένα ακόμη αντικειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου το οποίο όμως είναι απαραίτητο για την ταυτότητά του όπως γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο. [Γεωργάκη, 2016, 14]

Σημειωτέον, η δυναμική περιβάλλουσα του εκάστοτε ήχου μπορεί να μη διαθέτει και τα τέσσερα στάδια όπως παραδείγματος χάριν τα κρουστά στα οποία η τρίτη φάση, δηλαδή το sustain, απουσιάζει τελείως ως επί το πλείστον.

2.1.1.4 Το φάσμα του ήχου και εφαρμογές της Μουσικής Ακουστικής

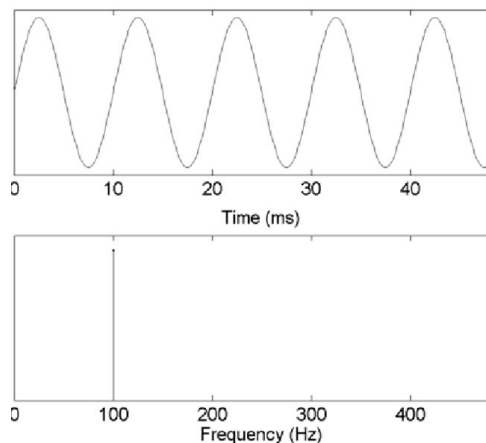
Η θεωρία της ανάλυσης Fourier μελετά τον τρόπο με τον οποίο γενικές σύνθετες συναρτήσεις μπορούν να αναπαρασταθούν και να προσεγγιστούν από άθροισμα απλούστερων τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Αν και αρχικά ο Fourier ανέπτυξε τη θεωρία του για την μελέτη της μεταφοράς θερμότητας, η οποία ως συνάρτηση παρουσίαζε εξαιρετική πολυπλοκότητα και καθιστώντας την μέσω της προσέγγισης της με σειρές τριγωνομετρικών συναρτήσεων απλούστερη, η θεωρία αυτής της ανάλυσης έβρισκε εφαρμογή σε πλήθος περιπτώσεων για τον υπολογισμό σύνθετων στην εξέλιξη τους φυσικών φαινομένων. Μια τέτοια περίπτωση συνιστά και το φαινόμενο των σύνθετων ήχων. Ο Ohm εφάρμοσε την ανάλυση Fourier στους σύνθετους ήχους αποδεικνύοντας ότι κάθε ήχος, οσονδήποτε σύνθετος, μπορεί να αναλυθεί με μοναδικό τρόπο ως άθροισμα απλών ήχων (ημιτονοειδών) με κατάλληλο πλάτος και φάση. Αντιστοίχως, ακολουθώντας κανείς την αντίστροφη διαδικασία, ο αρχικός σύνθετος ήχος μπορεί να ανασυντεθεί από τα επιμέρους συστατικά του. Αυτή η διαδικασία ονομάστηκε ανάλυση φάσματος (spectrum analysis) του σύνθετου ήχου ενώ το παραγόμενο αποτέλεσμα της ονομάστηκε αρμονικό φάσμα (harmonic spectrum). Το αρμονικό φάσμα μας δίνει μια αναπαράσταση των διάφορων αρμονικών ενός σύνθετου ήχου συναρτήσει της έντασης ή αλλιώς της ενέργειας καθεμιάς απ' αυτές [Γεωργάκη, 2016].

Ένα παράδειγμα του φάσματος ενός σύνθετου ήχου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

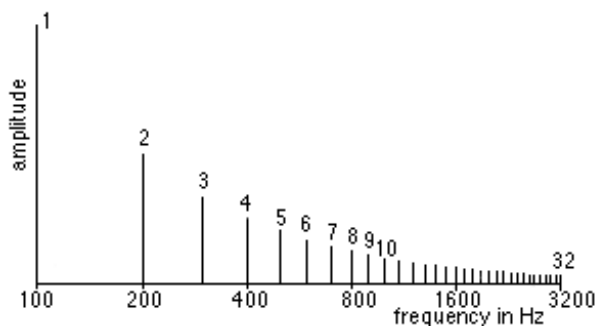


Έτσι, σύμφωνα με το αρμονικό τους φάσμα οι τέσσερις κατηγορίες ήχων (απλός, σύνθετος, θόρυβος και κρότος) διαφοροποιούνται ως εξής:

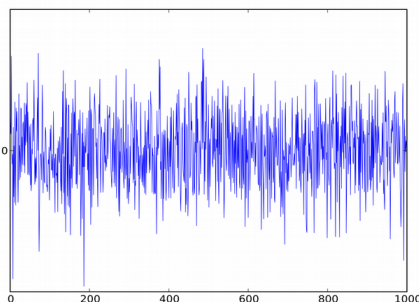
Ένας απλός ήχος διαθέτει μόνο τη θεμελιώδη συχνότητα. Η θεμελιώδης συχνότητα ισούται με τον αριθμό των περιόδων του ήχου ανά μονάδα χρόνου (sec):



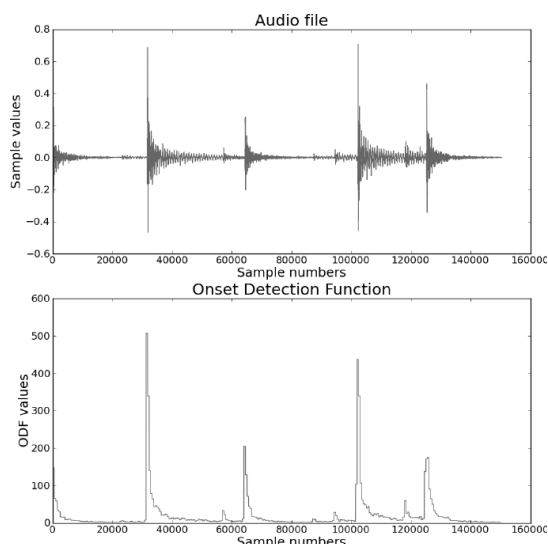
Ένας σύνθετος ήχος αποτελείται από τη θεμελιώδη συχνότητά του και παράγωγες αρμονικές, ή αλλιώς υπερτόνους (overtones) οι οποίες είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους. Η θεμελιώδης συχνότητα είναι η χαμηλότερη συχνότητα στο φάσμα των συχνοτήτων και συνήθως είναι η συχνότητα με τη μεγαλύτερη ενέργεια (ένταση) στο αρμονικό φάσμα, αν και αυτό δεν ισχύει απαραίτητως.



Ο θόρυβος είναι ήχος ο οποίος διατρέχει όλες τις πιθανές τιμές συχνοτήτων και πιθανές τιμές ενέργειας και άρα το αρμονικό του φάσμα είναι κατ' ουσίαν μια συνεχής λωρίδα σταθερού πλάτους που καλύπτει όλες τις συχνότητες.



Ο κρότος είναι κατ' ουσίαν ήχος του οποίου η συχνότητα μεταβάλλεται αστραπιαία και του οποίου η δυναμική περιβάλλουσα έχει πάρα πολύ μικρό μέτωπο και καθόλου διάρκεια ενώ μπορούν να περιέχουν και θόρυβο.



Με την αντίστροφη διαδικασία της ανάλυσης Fourier μπορούμε να συνθέσουμε έναν ήχο από τα επιμέρους του στοιχεία. Έτσι, με τη χρήση υπολογιστών μπορεί κανείς να συνθέσει ψηφιακά οποιονδήποτε ήχο μέσω της ψηφιακής σύνθεσης σήματος. Ήδη, αρκετά νωρίς στη χρήση των υπολογιστών αναπτύχθηκαν λογισμικά για αυτό τον σκοπό. Έτσι, πλέον, είναι εφικτό για τον υπολογιστή να δημιουργήσει ήχους μέσω σύνθεσης αρμονικών φασμάτων διαφορετικών ήχων ή μέσω της μοντελοποίησης φυσικών ήχων. Ένα πολύ διαδεδομένο σύγχρονο περιβάλλον για τέτοιου είδους εφαρμογές είναι το MaxMSP, ένα λογισμικό επεξεργασίας σήματος με το οποίο μπορεί κανείς να δημιουργήσει ήχους χρησιμοποιώντας διαφορετικούς αλγοριθμικούς μηχανισμούς σύνθεσης αλλά και να τους επεξεργαστεί. Οι βασικοί τύποι σύνθεσης είναι η αφαιρετική (subtractive) σύνθεση, η προσθετική (additive) σύνθεση, η σύνθεση με διαμόρφωση συχνότητας (FM), η φυσική μοντελοποίηση (physical modelling) κ.ά. [Γεωργάκη, 2016, 66]

Συνοψίζοντας, τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά περιγράφουν το φαινόμενο της αιτίας του ήχου, τον ήχο όπως παράγεται στο περιβάλλον. Πέραν της ερμηνείας του ήχου ως φυσικού φαινομένου από την Μουσική Ακουστική, ο ήχος έχει ταυτοχρόνως τη διάσταση του αντικειμένου της ανθρώπινης ακοής, το αποτέλεσμα του ήχου που προέρχεται από το περιβάλλον. Έτσι, μπορούμε να μελετήσουμε τον ήχο ως το σήμα εισόδου που, αφότου έχει αλληλεπιδράσει με τον περιβάλλοντα χώρο, προσλαμβάνεται από το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα για να μετατραπεί τελικά, στον εγκέφαλο, σε ηχητικό ερέθισμα.

2.1.2 Ψυχοακουστική και υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου

Μελετώντας τον ήχο ως το προσλαμβανόμενο ηχητικό ερέθισμα μπορούμε να διακρίνουμε ορισμένα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά που θα αναλυθούν εδώ είναι η ακουστότητα, η τονικότητα και το ηχόχρωμα. Σκοπός της Ψυχοακουστικής είναι να βρει τους τρόπους με τους οποίους συνδέονται αυτά τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά με τα αντικειμενικά τα οποία είναι μετρήσιμα.

2.1.2.1 Η υποκειμενική διάσταση της έντασης (Ακουστότητα)

Η στάθμη ακουστότητας (loudness level ή αλλιώς L_L) είναι η ένταση του ήχου όπως γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο. Η ακουστότητα και η σχέση της με την ηχητική πίεση αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημόνων της Ψυχοακουστικής, από τον Helmholtz και Rayleigh μέχρι τους Fletcher και Munson στα Bell Laboratories, όπως αναφέραμε ήδη.

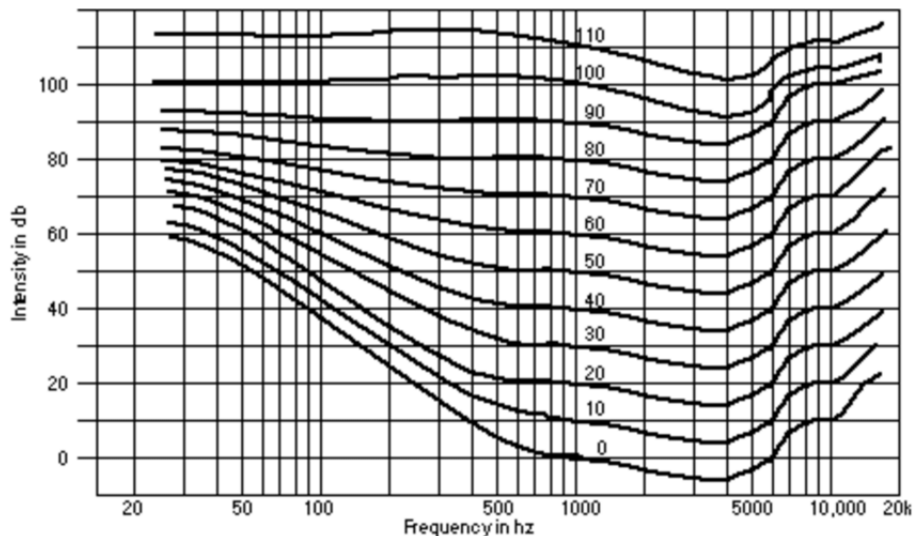
Ένα χαρακτηριστικό αποτέλεσμα αυτών ψυχοακουστικών των πειραμάτων, το οποίο μαρτυρούσε μια απόκλιση ανάμεσα στον εξωτερικό φυσικό κόσμο και σ' εκείνο που γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο, ήταν η λογαριθμική ανταπόκριση της ανθρώπινης ακοής στην ένταση του ηχητικού ερεθίσματος, κάτι που θα αποδιδόταν στην ανατομία του ακουστικού συστήματος [Mion & Martini, 2021, 66]. Αυτή η ιδέα είχε ήδη προταθεί από τους Fechner και Weber στην εξίσωση για τη ποσοτική σχέση μεταξύ ενός αισθητηριακού ερεθίσματος και την επίδραση που έχει στο αισθητηριακό σύστημα του ανθρώπου. Η σχέση αυτή συνοψίζεται στην εξίσωση

$$A = k \log E$$

όπου A είναι η προσλαμβανόμενη ένταση, E η εκπεμπόμενη ένταση και k μια σταθερά. [Γεωργάκη, 2016, 27]

Βασίζόμενος σε αυτή την υπόθεση ο Helmholtz, μέσω πειραμάτων, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μια γραμμική αύξηση στην ένταση ενός ήχου δεν αντιστοιχούσε σε γραμμική αύξηση της έντασης του προσλαμβανόμενου ερεθίσματος. Απαιτούνταν η εκθετική αύξηση της έντασης για να αντιληφθεί ο άνθρωπος ότι η ένταση αυξάνεται γραμμικά. [Bowler & Morus, 2005, 177]

Επιπλέον, ψυχοακουστικές μελέτες έδειξαν ότι, σε αντίθεση με ό,τι θα θεωρούσε κανείς αυτονόητο, ήχοι για τους οποίους μπορούμε να μετρήσουμε υψηλότερη στάθμη έντασης δεν έχουν απαραίτητως υψηλότερη στάθμη ακουστότητας. Μέσω πειραμάτων, έγινε φανερό ότι η αντιληπτική δυνατότητα του αυτιού μεταβάλλεται ανάλογα με τη συχνότητα. Το ακουστικό σύστημα είναι λιγότερο ευαίσθητο στις πολύ χαμηλές συχνότητες ενώ η ευαισθησία αυξάνεται σταδιακά καθώς η συχνότητα του ήχου αυξάνεται. Η μέγιστη ευαισθησία παρατηρείται ανάμεσα στα 3000 με 4000 Hz καθώς και σε συχνότητες περίπου 13000 Hz.



Το σχήμα αποτελεί μια αναπαράσταση των ισοσταθμικών καμπύλων ακουστότητας όπως προέκυψαν από τα πειράματα των Fletcher και Munson, το 1933, και παρουσιάζει την ακουστότητα καθώς αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τη συχνότητα και την ένταση πίεσης από την ηχητική πηγή. Η ισοσταθμικές καμπύλες ακουστότητας είναι βαθμονομημένες με τη μονάδα μέτρησης phon, η οποία έχει υπολογιστεί με βάση την ένταση πίεσης για ήχους, απλής ημιτονοειδούς κυματομορφής, με συχνότητα 1000 Hz.

Η ακουστότητα δεν εξαρτάται μόνο από την ένταση του ήχου αλλά μεταβάλλεται επίσης ανάλογα με τη χροιά του ήχου, το αρμονικό του φάσμα και τη διάρκεια του.

2.1.2.2 Η αντίληψη του τόνου και της τονικότητας

Εδώ υπάρχει μια δυσκολία στη μετάφραση των όρων tone και pitch δεδομένου ότι στην ελληνική γλώσσα χρησιμοποιείται η λέξη τόνος και στις δύο περιπτώσεις. Ως τόνος (tone) ή αλλιώς τονικός ήχος ορίζεται οποιοδήποτε ηχητικό κύμα είναι ικανό να διεγείρει μια ακουστική αίσθηση που

διαθέτει pitch. Από την άλλη, ως τόνος (pitch) του ηχητικού ερεθίσματος ορίζεται η προσλαμβάνουσα συχνότητα του ήχου. Χάριν ευκολίας, η έννοια του pitch μεταφράζεται ως “τονικότητα”.

Ο τρόπος με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την τονικότητα ενός ήχου υπήρξε αντικείμενο διαμάχης και δεν έχει κατανοηθεί πλήρως. Ήδη από τον 18ο αιώνα είχαν γίνει αρκετά πειράματα για την αντίληψη του τονικού ύψους ενός ήχου, τα οποία υποδείκνυαν ότι ο τόνος και το τονικό ύψος είναι υποκειμενικές ιδιότητες της ακουστικής αίσθησης και δεν μπορούν να εξαχθούν απευθείας από τα φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου. Δηλαδή, η τονικότητα δεν είναι αποκλειστικά μια συνάρτηση της συχνότητας ηχητικού κύματος ούτε κάποιου συνδυασμού των υπολοίπων αντικειμενικών χαρακτηριστικών. Έτσι, έχει διαμορφωθεί η ψυχοφυσική κλίμακα των mel για την μέτρηση του υποκειμενικού τονικού ύψους. Μέσω πειραμάτων έχει παρατηρηθεί ότι η μέση συχνότητα υποκειμενικού τονικού ύψους μεταξύ των 0 και 4000 Hz είναι τα 1000 Hz. Η κλίμακα των mel έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ανάλογη με το υποκειμενικό τονικό ύψος και το οποίο με τη σειρά του αλλάζει ανάλογα με τη συχνότητα του ήχου. [Γεωργάκη, 2016, 33]

Όπως ορίζεται στα πρότυπα της Acoustical Society of America η τονικότητα είναι μια ιδιότητα της ακουστικής αίσθησης με την οποία ο ακροατής κατατάσσει έναν ήχο σύμφωνα με την κλίμακα που χρησιμοποιείται σε μια μουσική μελωδία [ASA Standards, 11.01]. Το τονικό ύψος (pitch height) είναι μια ιδιότητα του ακουστικού συστήματος με την οποία ο ακροατής κατατάσσει έναν τονικό ήχο ανάλογα με τη θέση που έχει σε ένα μονοτονικό συνεχές, δηλαδή με το πόσο χαμηλά ή ψηλά τοποθετείται σε μια συγκεκριμένη κλίμακα [ASA Standards, 12.10].

Για έναν τονικό ήχο, η τονικότητά του ταυτίζεται με την συχνότητα του ηχητικού κύματος. Για έναν σύνθετο ήχο, του οποίου το ηχητικό κύμα όπως αναφέραμε αποτελείται από περισσότερες συχνότητες, θεμελιώδη και αρμονικές, ο τόνος θα μπορούσε να περιγραφεί με τη συχνότητα ενός απλού τονικού ήχου, δεδομένης ηχητικής πίεσης, όπου παράγει την αίσθηση της ίδιας τονικότητας και με αυτό τον τρόπο κατηγοριοποιούνται οι φθόγγοι των διαφορετικών μουσικών οργάνων των οποίων το αρμονικό φάσμα διαφέρει [ASA Standards, 11.01]. Όπως και στην περίπτωση της συχνότητας, βαθμονόμηση του τονικού ύψους είναι η οκτάβα.

Η αντίληψη της τονικότητας των ήχων του περιβάλλοντος

Αν και όπως αναφέραμε οι ήχοι του περιβάλλοντος είναι πάντοτε αρκετά πιο περίπλοκοι ως προς τη δομή τους ο ανθρώπινος εγκέφαλος, σε μια μεσαία ζώνη του ακουστικού φάσματος από τα 50 Hz μέχρι το όριο των 5000 Hz, έχει τη δυνατότητα να τους αποδώσει μια τονικότητα και άρα να γίνει

αντιληπτή η μουσικότητα τους [Attneave and Olson, 1971]. Σε αυτό το φάσμα συχνοτήτων ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται τον ήχο μουσικά στο σύνολο του, δηλαδή ανεξαρτήτως αν τα συνθετικά του στοιχεία αποτελούνται από το συνδυασμό σύνθετων κυματομορφών και θόρυβο [Purves, 2017, 12]. Για ήχους που βρίσκονται κάτω των 50 Hz και ήχους που ξεπερνούν τα 5000 Hz ο εγκέφαλος αναγνωρίζει στοιχεία τονικότητας αλλά δεν τους αποδίδει μια τονική μουσική ποιότητα.

Θεωρήσεις του παράδοξου της χαμένης θεμελιώδους

Η ύπαρξη διαφορετικών θεωριών περί της αντίληψης της τονικότητας τροφοδοτήθηκε από την ανάγκη να εξηγηθούν ορισμένα παράδοξα φαινόμενα. Ο Helmholtz μελετώντας τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η αντίληψη της τονικότητας βάσισε την θεωρία του στον ακουστικό νόμο του Ohm και την ανάλυση Fourier. Πέραν της θεωρητικής χρησιμότητας του μοντέλου αυτού εκείνο που ήταν πρωτοποριακό στην υπόθεση του Ohm ήταν ότι το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα, μέσω του κοχλίου, εκτελεί την ίδια φασματική ανάλυση και με αυτόν τον τρόπο κατηγοριοποιεί τον κάθε ήχο, οποιασδήποτε μορφής, αναλόγως προς τον τόνο του. Ο Helmholtz επηρεασμένος από τον ακουστικό νόμο του Ohm θεώρησε ότι το εσωτερικό του αυτιού είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να πολλαπλασιάζει την ενέργεια της θεμελιώδους κατά την αρμονική ανάλυση φάσματος, μέσω αρμονικής παραμόρφωσης. Η τονικότητα που γίνεται αντιληπτή θα πρέπει να συμπίπτει με τη συχνότητα μέγιστης ενέργειας στο αρμονικό φάσμα, δηλαδή χάρη στην βαρύτητα που αποκτά μέσω της αρμονικής παραμόρφωσης η θεμελιώδης συχνότητα. [Mion & Martini, 2021]

Εντούτοις, αυτό επρόκειτο να τεθεί υπό αμφισβήτηση εξαιτίας του παράδοξου της χαμένης θεμελιώδους συχνότητας και του φαινομενικού τονικού ύψους. Η παραδοξότητα έγκειται στο ότι η τονικότητα ενός σύνθετου ήχου μπορεί να διαφέρει από την θεμελιώδη συχνότητα του ηχητικού κύματος ή να γίνεται αισθητή ακόμη και αν η θεμελιώδης συχνότητα απουσιάζει. Η προσλαμβανόμενη αυτή τονικότητα ονομάζεται και φαινομενικό τονικό ύψος.

Ο August Seebeck (1805-1849), ένας γερμανός φυσικός, επινόησε μια κατασκευή για τη μελέτη της αντίληψης της τονικότητας. Η κατασκευή αποτελούνταν από έναν τροχό που είχε εγκοπές κατά μήκος της περιμέτρου του που μπορούσε να παράγει σύνθετους ήχους. Όταν ο τροχός περιστρέφονταν με μεγάλη ταχύτητα είχε τη δυνατότητα να παράγει ήχο καθώς ο αέρας περνούσε μέσα από τις εγκοπές και δημιουργούσε παλμούς πεπιεσμένου αέρα. Η απόσταση μεταξύ των εγκοπών καθόριζε και τη συχνότητα του σύνθετου ήχου που παραγόταν. Διαφορετικοί τέτοιοι

δίσκοι χρησιμοποιήθηκαν ώστε να μελετηθεί στατιστικά η αντίληψη του τόνου από ένα πλήθος ακροατών.

Στην περίπτωση όπου οι εγκοπές ήταν κατανεμημένες σε ίσες αποστάσεις πάνω στο δίσκο τότε ο παραγόμενος τόνος αντιστοιχούσε στην περίοδο των παλμών. Επομένως ένας διπλασιασμός των οπών, δηλαδή μια ισόποση αύξηση τους θα οδηγούσε σε μια αύξηση του τονικού ύψους κατά μία οκτάβα, κάτι που επαληθεύτηκε μέσω πειραμάτων ακρόασης. Στην περίπτωση όμως ενός δίσκου ο οποίος είχε εγκοπές από τη συμβολή των δύο προηγούμενων δίσκων, του αρχικού και της οκτάβας, το πείραμα έδειξε ότι η τονικότητα του ήχου που παρήγαγε, όπως γινόταν αντιληπτή από τον άνθρωπο, συνέπιπτε με εκείνον του πρώτου δίσκου περιέχοντας ωστόσο τη θεμελιώδη αρμονική σε πολύ χαμηλή ένταση. Εν προκειμένω, οι δύο ήχοι περιείχαν τις ίδιες αρμονικές αλλά σε διαφορετική αναλογία. Η εξήγηση που δόθηκε από τον Seebeck ήταν ότι η περίοδος της κυματομορφής του δίσκου που είχε προκύψει από τη συμβολή ήταν ίση με την περίοδο της κυματομορφής του πρώτου δίσκου. Άρα, η αντίληψη της τονικότητας θα έπρεπε να σχετίζεται με τη δυνατότητα του αυτιού να αντιλαμβάνεται την περιοδικότητα της κυματομορφής. Αυτό ερχόταν σε αντίθεση με τον ακουστικό νόμο του Ohm και την υπόθεση του Helmholtz ότι η αντίληψη της τονικότητας προκύπτει από την ανάλυση συχνότητας που γίνεται στο αυτί και την ενίσχυση της θεμελιώδους συχνότητας. [Yost, 2015]

Ο Helmholtz απέδωσε τα συμπεράσματα των πειραμάτων του Seebeck σε ηχητική παραίσθηση. Η υπόθεση του Seebeck για την αντίληψη της τονικότητας αποτελεί τη βάση της θεωρίας περιοδικότητας όπως προτάθηκε από τον J.F. Schouten, το 1940, ο οποίος την πρότεινε ως εναλλακτική στη θεωρία περιοχής, δηλαδή στη θεωρία ότι διαφορετικές περιοχές της βασικής μεμβράνης, στο εσωτερικό του αυτιού, διεγείρονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνουν την πληροφορία για την τονικότητα. [Rossing, 2007] Ο ανταγωνισμός των δύο αυτών θεωριών για την αντίληψη της τονικότητας συνεχίζει μέχρι σήμερα με επιστήμονες που προτείνουν μοντέλα περιοδικότητας και μοντέλα φασματικών περιοχών σε συνδυασμό με τη θεωρία ανίχνευσης σήματος των Green και Swets. [Yost, 2009]

Πέραν από τις θεωρίες περιοδικότητας και περιοχής, το φαινόμενο της χαμένης θεμελιώδους θα μπορούσε να εξηγηθεί με τη βοήθεια της νευροεπιστήμης. Εξέχουσα τέτοια περίπτωση είναι η θεωρία των Houtsma και Goldstein σύμφωνα με την οποία η τονικότητα ενός ήχου προκύπτει από την αναγνώριση του μοτίβου (pattern recognition) των αναγνωρίσιμων συχνοτήτων του μέσω σύγκρισης με διαφορετικές αρμονικές σειρές. Με άλλα λόγια, ο εγκέφαλος έχοντας εξοικειωθεί και εκπαιδευτεί μέσω της έκθεσης σε συγκεκριμένα ηχητικά ερεθίσματα συγκρίνει τους ήχους του περιβάλλοντος με ήδη γνωστούς ήχους ώστε να τους κατηγοριοποιήσει. Όταν ένα ηχητικό ερέθισμα πλησιάζει ένα τέτοιο ηχητικό εγκεφαλικό μοντέλο τότε το ταυτίζει και

αντιδρά σαν να επρόκειτο για αυτό το μοντέλο [Houtsma & Goldstein, 1972]. Έτσι, το φαινόμενο της χαμένης θεμελιώδους θα μπορούσε να εξηγηθεί λόγω της ιδιότητας του εγκεφάλου να κατηγοριοποιεί τα ερεθίσματα.

Το φαινόμενο των συνδυαστικών τόνων

Ένα ακόμη φαινόμενο, ενδεικτικό της υποκειμενικού χαρακτήρα της τονικότητας, είναι εκείνο των συνδυαστικών τόνων ή προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης. Το φαινόμενο που είχε παρατηρηθεί ήδη από πολλούς προγενέστερους του Helmholtz, όπως τους μουσικούς Georg Sorge (1703-1778) και Giuseppe Tartini (1692-1770), ήταν εκείνο των συνδυαστικών ήχων (combination ή difference tones). Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν δύο ήχοι διαφορετικών συχνοτήτων συνηχούν ο άνθρωπος μπορεί να ακούσει και ένα τρίτο ήχο διαφορετικής συχνότητας του οποίου η τονικότητα προκύπτει από το άθροισμα ή τη διαφορά της τονικότητας των δύο αρχικών ήχων. Το καίριο ερώτημα που απασχολούσε τους επιστήμονες ήταν το αν η παραγωγή του τρίτου ήχου είχε μια φυσική εξήγηση – αν παραγόταν δηλαδή μηχανικά μέσω της κίνηση των μορίων του αέρα– ή αν ήταν αποτέλεσμα της ανθρώπινης φαντασίας [Yost, 2015]. Ο Helmholtz έστρεψε την προσοχή μακριά από το δίλημμα και βάσισε την απάντηση του σε μια φυσιολογική υπόθεση: το φαινόμενο θα μπορούσε να εξηγηθεί μέσω της δομής της βασικής μεμβράνης, στο μέσο αυτί, η οποία είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση του ερεθίσματος μέσω ακουστικού νεύρου, στον εγκέφαλο. Σύμφωνα με την υπόθεση του Helmholtz, η βασική μεμβράνη θα πρέπει να είναι κατασκευασμένη με τέτοιον τρόπο ώστε πέραν μια κρίσιμης τιμής να παράγει μια δόνηση από την υπέρθεση των δύο αρχικών ήχων [Mion, 2021, 66].

2.1.2.3 Το ηχόχρωμα και η νευροαισθητική του θεώρηση

Ένα ακόμη υποκειμενικό χαρακτηριστικό ενός ήχου το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ταυτότητάς του είναι το ηχόχρωμα ή αλλιώς χροιά. Το ηχόχρωμα, λόγω της εξάρτησης του από τη γλώσσα και της χρήσης επιθετικών προσδιορισμών με ευρύ περιθώριο νοηματοδότησης, είναι ίσως το χαρακτηριστικό το οποίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη δυσκολία στο να οριστεί. Το να χαρακτηριστεί ένας ήχος ως π.χ. μουντός ή λαμπερός, απαλός ή τραχύς αφήνει πολλά περιθώρια διαφωνίας και αμφισημίας μεταξύ των υποκειμένων. Πολύ απέχοντας από το να είναι ένα καλώς

ορισμένο μέγεθος, στο ηχόχρωμα εμπίπτουν όλες εκείνες οι ποιότητες του ήχου που δεν καλύπτονται από τα υπόλοιπα υποκειμενικά χαρακτηριστικά

Ο ορισμός που δίνεται από την Acoustical Society of America είναι εκείνος που προτάθηκε από τον Plomp το 1970: “η πολυδιάστατη ιδιότητα της ακουστικής αίσθησης που ωθεί έναν ακροατή να κρίνει ότι δύο μη ταυτόσημοι ήχοι, οι οποίοι παρουσιάζονται με παρόμοιο τρόπο και έχουν τον ίδιο τόνο, την ίδια ακουστότητα, τον ίδιο εντοπισμό στον χώρο και την ίδια διάρκεια, δεν μοιάζουν” [Plomp, 1970; ASA Standards, 11.09].

Το ηχόχρωμα ενός ήχου είναι το υποκειμενικό χαρακτηριστικό το οποίο εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη μορφή του αρμονικού του φάσματος. Το ηχόχρωμα εξαρτάται από τον αριθμό των παραγώγων αρμονικών συχνοτήτων του ήχου, τη αρμονική ή μη αρμονική σχέση των παραγώγων με τη θεμελιώδη συχνότητα, τη σχετική ένταση των παραγώγων συχνοτήτων αλλά και τη σχετική τους φάση, την κατανομή των παραγώγων συχνοτήτων του φάσματος, τη συνολική ισχύ διέγερσης, τη μορφή της δυναμικής περιβάλλουσας και την ένταση της θεμελιώδους συχνότητας [Γεωργάκη, 2016, 44].

Το ηχόχρωμα ενός ήχου εξαρτάται ιδιαίτερα από τη δυναμική περιβάλλουσα της έντασής του. Έτσι, το ηχόχρωμα είναι εκείνο το χαρακτηριστικό που οδηγεί έναν ακροατή ώστε να τακτοποιήσει ένα μουσικό όργανο και αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο, όπως αναφέραμε παραπάνω, όταν η δυναμική περιβάλλουσα αλλάζει το μουσικό όργανο δεν είναι αναγνωρίσιμο.

Σε ένα πείραμα που έλαβε χώρα το 1964 από τον Berger με υποκείμενα έμπειρους μουσικούς στους οποίους παρουσιάστηκαν ήχοι από διάφορα μουσικά όργανα με σημαντικά αλλοιωμένη τη δυναμική περιβάλλουσα τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την παραπάνω υπόθεση. Συγκεκριμένα στους ήχους που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα είχε αφαιρεθεί τα πρώτο και το τελευταίο μισό δευτερόλεπτο. Κάτι τέτοιο μαρτυρά ότι το μέτωπο και η release είναι απαραίτητα στοιχεία του ηχοχρώματος ενός ήχου και μαρτυρά ότι ακόμη και για ακροατές, ιδιαιτέρως εξοικειωμένους με τον ήχο των μουσικών οργάνων μιας ορχήστρας, ο εγκέφαλος τους είναι αδύνατο να κατηγοριοποιήσει τον ήχο αν διαταραχτεί η δυναμική περιβάλλουσα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι κατά την εκτύλιξη του ήχου στον χρόνο, στη φάση του μετώπου, οι μερικοί (παράγωγοι, overtones) τόνοι του ήχου εμφανίζονται σε διαφορετικούς χρόνους. [Berger, 1964]

Ένα άλλο στοιχείο που επηρεάζει σημαντικά την αντίληψη και τον καθορισμό του ηχοχρώματος από τον ανθρώπινο εγκέφαλο είναι το transient ενός ήχου. Ως transient του ήχου ορίζεται η παροδική μεταβατική του κατάσταση κατά την εκφορά του. Ένας ήχος ο οποίος αναπαράγεται αντίστροφα δεν μπορεί να αναγνωριστεί από τον ακροατή, δηλαδή ακόμη και αν τα επιμέρους στοιχεία του ήχου είναι όλα παρόντα. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το ηχόχρωμα ενός ήχου είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις χρονοεξαρτώμενες μεταβλητές του.

Μια ακόμη παράμετρος που καθορίζει το ηχόχρωμα ενός ήχου είναι και ο ρυθμός των ενεργειακών διακυμάνσεων στο αρμονικό του φάσμα. Ανάλογα με το φάσμα των συχνοτήτων στο οποίο παρατηρείται η ενεργειακή διακύμανση μπορούμε να ορίσουμε το χαρακτηριστικό της σκληρότητας (roughness) και της οξύτητας (sharpness) ενός ήχου.

Η σκληρότητα (roughness) ενός ήχου είναι η αντιληπτική διάσταση του ήχου που σχετίζεται με τις διακυμάνσεις της ενέργειας του ήχου, ένα χαρακτηριστικό ανάλογο με την τραχύτητα μιας επιφάνειας στην αφή. Διακυμάνσεις στην ενέργεια με ρυθμό από 20 μέχρι 200 Hz συνεισφέρουν στη σκληρότητα του ήχου και αποτελούν μέρος της χροιάς του. Διακυμάνσεις ενέργειας με ρυθμό μικρότερο των 20 Hz γίνονται αντιληπτές σαν διακριτοί μεταξύ τους ήχοι.

Η οξύτητα (sharpness) ενός ήχου ορίζεται ως η κατανομή της ενέργειας στις υψηλές συχνότητες. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά γίνονται αντιληπτά από το ακουστικό ανθρώπινο σύστημα είτε στο πρώτο στάδιο, δηλαδή από το περιφερειακό ακουστικό σύστημα είτε σε δεύτερο στάδιο, από το νευρικό ακουστικό σύστημα.

2.1.3 Ακουστική χώρων

Ένα εξίσου σημαντικό υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου είναι ο εντοπισμός της πηγής στον χώρο. Είναι αξιοσημείωτο ότι αν και ο ήχος δεν μεταφέρει πληροφορίες τοπικότητας, η προέλευση ενός ήχου μπορεί να τοποθετηθεί στον χώρο. Η διαδικασία του εντοπισμού της πηγής γίνεται στον εγκέφαλο και είναι αποτέλεσμα της διχωτικής ακοής του ανθρώπου.

Ταυτοχρόνως, αυτό αποτελεί και συνέπεια του ότι ο ήχος αλληλεπιδρά και επηρεάζεται από τον χώρο στον οποίο ταξιδεύει. Οι ιδιότητες αυτής της αλληλεπίδρασης και η χρήση τους αποτελούν το πεδίο της Ακουστικής χώρων το οποίο έχει τις ρίζες του στην Αρχαιότητα. Με την κατασκευή των πρώτων ανοιχτών θεάτρων στην Αρχαία Ελλάδα παρατηρούνται και οι πρώτες προσεγγίσεις στην εμπειρική μελέτη των ιδιοτήτων του ήχου ως προς το χώρο για τη καλύτερη ακουστική εμπειρία των θεατών. Έτσι, το αμφιθεατρικό σχήμα των Αρχαίων Ελληνικών υπαίθριων θεάτρων μαρτυρά ότι οι αρχιτέκτονες τα σχεδίαζαν με σκοπό να πετύχουν το καλύτερο δυνατό ακουστικό αποτέλεσμα. Η γνώση αυτή πέρασε και στις ρωμαϊκές κατασκευές θεάτρων. Η μνημειώδης μελέτη της αρχιτεκτονικής ακουστικής της εποχής είναι το *De architectura* του Βιτρούβιου, Ρωμαίου μηχανικού, του 1ου π.Χ.

Σκοπός της αρχιτεκτονικής ακουστικής είναι να περιοριστούν οι συνέπειες της αντήχησης που προκαλούνται από τις πολλαπλές αντανάκλασεις ώστε να διατηρηθεί το ηχητικό σήμα αναλλοίωτο. Αναλόγως, το φαινόμενο της αντήχησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένους

χώρους ώστε να επιφέρει αλλοιώσεις στον ήχο που είναι επιθυμητές όπως για παράδειγμα παρατηρείται σε αρκετούς ναούς όπου ο τροποποιημένος ήχος μπορεί να προκαλεί την αίσθηση του δέους.

Στη σύγχρονη αρχιτεκτονική η μελέτη της ακουστικής γίνεται με ειδικά τεχνικά μέσα τα οποία μπορούν να παρέχουν ακριβή εικόνα για την ακουστική του κάθε διαφορετικού σημείου στον χώρο. Για τον σκοπό αυτό, ευαίσθητα μικρόφωνα τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία του χώρου και λαμβάνουν δοκιμαστικά σήματα. Επιπλέον, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, υπάρχουν σήμερα πλήθος ηλεκτρονικών προγραμμάτων προσομοίωσης κλειστών χώρων για τη μελέτη της ακουστικής, τα οποία με υπολογιστικές μεθόδους μπορούν να δώσουν τον ηχητικό χάρτη ενός χώρου, δηλαδή του τρόπου με τον οποίο ο ήχος αλληλεπιδρά με τον χώρο αλλά και το αναμενόμενο ηχητικό αποτέλεσμα για το κάθε διαφορετικό σημείο του χώρου.

Η Ακουστική χώρων αποτελεί ξεχωριστό κλάδο της ακουστικής και είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην αρχιτεκτονική για τον βέλτιστο σχεδιασμό, πέραν από τα θέατρα και τις αίθουσες συναυλιών, χώρων εργασίας, δημόσιων χώρων, βιομηχανικών χώρων, σχολείων, νοσοκομείων κλπ.

2.2 Η νευροφυσιολογία του ήχου

Ο ήχος για τον άνθρωπο μπορεί να είναι είτε σήμα εξόδου, δηλαδή ο ήχος που παράγεται μέσω του συστήματος ομιλίας, είτε σήμα εισόδου, δηλαδή το ηχητικό ερέθισμα που προσλαμβάνεται μέσω της αίσθησης της ακοής από το ακουστικό σύστημα. Το ακουστικό σύστημα αποτελείται από δύο διακριτά τμήματα: το περιφερειακό ακουστικό σύστημα και το νευρικό ακουστικό σύστημα. Το πρώτο αφορά στη λειτουργία του αυτιού και τη σύλληψη του ηχητικού ερεθίσματος απ' αυτό. Το δεύτερο αφορά στην επεξεργασία του ηχητικού ερεθίσματος από τον εγκέφαλο.

2.2.1 Τα ηχητικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φωνής

Για την μελέτη της ανθρώπινης φωνής, αλλά και για την μελέτη της φωνής των υπολοίπων ζωικών ειδών, ως μια ξεχωριστή περίπτωση ήχου, έχουν προσδιοριστεί ένα σύνολο ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τα οποία την διαφοροποιούν από τους υπόλοιπους ήχους. Το εν λόγω πεδίο ονομάζεται φωνητική ακουστική και η συστηματοποίησή του προτάθηκε αρχικά από τους Peterson και Shoup σε μια δημοσίευση που έλαβε χώρα το 1966. Ο σκοπός της φωνητικής ακουστικής είναι να συνδέσει, μέσω της μαθηματικής μοντελοποίησης, τις φυσιολογικές ιδιότητες του συστήματος

ομιλίας με τις ακουστικές παραμέτρους της φωνής και τα ηχητικά κύματα που η τελευταία παράγει [Peterson & Shoup, 1966, 70]. Η ακουστική φωνητική αντλεί τα απαραίτητα εργαλεία για την μελέτη του ηχητικού σήματος από το επιστημονικό πεδίο της ανάλυσης σήματος.

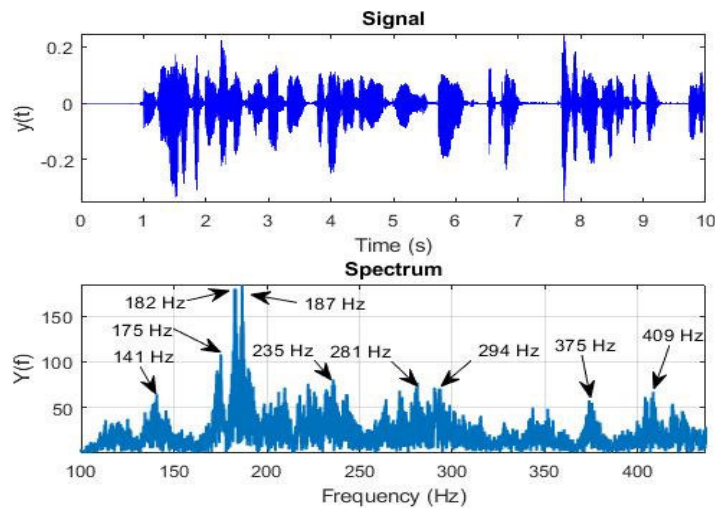
Η ανθρώπινη φωνή ως ηχητικό σήμα είναι αρκετά σύνθετο και αποτελείται συγχρόνως, ανάλογα την περίπτωση, από περιοδικούς τονικούς ήχους, ημιπεριοδικούς και μη περιοδικούς ήχους, δηλαδή θόρυβο [Peterson & Shoup, 1966, 71-78]. Μιας και η ανθρώπινη φωνή μπορεί να έχει πλήθος διαφορετικών μορφών, η μαθηματική μοντελοποίηση της απαιτεί τον ορισμό των συναρτήσεων για τις διαφορετικές κυματομορφές που παράγει, δηλαδή την ανάπτυξη του πλάτους ως προς τον χρόνο. Η παραπάνω μοντελοποίηση, για την ανάπτυξη μιας συμπαγούς φωνητικής ακουστικής θεωρίας λαμβάνει υπόψη της τις εκφάνσεις της ανθρώπινης ομιλίας ως μηχανισμού, τουτέστιν ανεξαρτήτως της ομιλούμενης γλώσσας, σε ποικίλες περιπτώσεις, όπως είναι το μουρμουρητό, η συνήθης ομιλία, το τραγούδι. Η ανθρώπινη φωνή διαμορφώνεται από τα φωνήεντα τα οποία είναι τονικοί ήχοι, που παράγονται από τις φωνητικές χορδές και τη στοματική κοιλότητα, και τα σύμφωνα τα οποία δεν αποτελούν τονικούς ήχους αλλά παράγονται, εν είδει κρότων ή άλλων θορύβων, από συνδυασμένες κινήσεις των δοντιών, της γλώσσας και τον ουρανίσκο. [Peterson, 1966]

Το ανθρώπινο σύστημα ομιλίας αποτελείται από τις φωνητικές χορδές ενώ ο χώρος της στοματικής κοιλότητας λειτουργεί σαν αντηχείο. Έτσι, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι παλλόμενες φωνητικές χορδές προσομοιάζουν στην ταλάντωση της χορδής ενός οργάνου και η επεξεργασία του αρχικού ηχητικού κύματος γίνεται στη στοματική κοιλότητα όπου η αρμονική σειρά του ηχητικού κύματος τροποποιείται, φιλτράρεται και ενισχύεται κατά την εκφορά. Εν ολίγοις, το ανθρώπινο σύστημα ομιλίας έχει τη μορφή μιας ακόμη ηχητικής πηγής και ως τέτοια διαθέτει ηχητικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να αναλυθούν με τα εργαλεία της Μουσικής Ακουστικής και της ανάλυσης σήματος. Η μοντελοποίηση της ομιλίας ως ένα σύστημα πηγής/φίλτρου αποδίδεται στον Müller κατά τον 19ο αιώνα και δεν άλλαξε ιδιαίτερα έκτοτε.

Από μηχανικής άποψης, η λειτουργία του συστήματος ομιλίας συνοψίζεται στην εξής διαδικασία: ο αέρας που εκπέμπεται από τους πνεύμονες περνά μέσα από την τραχεία και διαμέσου των φωνητικών χορδών, στον χώρο της γλωττίδας, φτάνει στον λάρυγγα. Καθώς η περιοχή ανάμεσα στις φωνητικές χορδές στενεύει, η πίεση του ρεύματος αέρα αυξάνεται προκαλώντας το άνοιγμα των φωνητικών χορδών και κατόπιν, με τη μείωση της πίεσης, οι φωνητικές χορδές κλείνουν ξανά. Η ταχεία, κυκλική επανάληψη αυτής της διαδικασίας έχει σαν αποτέλεσμα την ταλάντωση των φωνητικών χορδών και άρα την παραγωγή ήχου. Η συχνότητα και η ένταση αυτών των δονήσεων εξαρτάται από τους μυς που συγκρατούν τις φωνητικές χορδές και από την πίεση με την οποία οι πνεύμονες εκπέμπουν τα ρεύματα αέρα. [Lindblom & Sundberg, 2005, 682]

Η θεμελιώδης συχνότητα της ανθρώπινης ομιλίας κυμαίνεται από τα 50 μέχρι τα 400 Hz και αφορά στο ηχητικό κύμα που παράγουν οι φωνητικές χορδές.

Ένα ακόμη ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ανθρώπινης φωνής είναι τα formants ή αλλιώς συχνότητες φωνοσυντονισμού όπως μεταφράζονται στα ελληνικά. Τα formants που παρατηρούνται κατά την αρμονική ανάλυση ενός δείγματος ανθρώπινης φωνής είναι οι κορυφώσεις ενέργειας στις συχνότητες συντονισμού της στοματικής κοιλότητας καθώς εκφέρονται τα διαφορετικά φωνήεντα.



2.2.2 Η δομή του περιφερειακού ακουστικού συστήματος

Το περιφερειακό ακουστικό σύστημα χωρίζεται σε τρία μέρη: το εξωτερικό, το μέσο και το εσωτερικό. Τα μέρη του εξωτερικού ακουστικού συστήματος είναι το περύγιο και ο ακουστικός πόρος. Το περύγιο είναι διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο ώστε αφενός να προφυλάσσει τον ακουστικό πόρο και αφετέρου να συμβάλλει στη συλλογή των ηχητικών σημάτων δίνοντας ταυτόχρονα πληροφορίες για τον εντοπισμό της ηχητικής πηγής στον χώρο.

Ο ακουστικός πόρος παίζει τον ρόλο ενός ενισχυτή σήματος, μέσω συντονισμού, για τις συχνότητες ανάμεσα στα 2000 και 5000 Hz. (Στο φάσμα δηλαδή όπου εντοπίζεται η ανθρώπινη ομιλία.) Ο ακουστικός πόρος, λόγω της δομής του, παρουσιάζει δύο τιμές συντονισμού, μία που εντοπίζεται περίξ των 3000 Hz και μία δεύτερη που εντοπίζεται άνω το 10000 Hz, περίπου στα 13000 Hz. Αυτός είναι και ο λόγος, για τον οποίο, όπως προαναφέρθηκε, εκεί εντοπίζεται η μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς την ακουστότητα ενός ερεθίσματος. Έχει υπολογιστεί ότι εξαιτίας του συντονισμού η ακουστότητα ενός σήματος σε αυτές τις συχνότητες μπορεί να αυξηθεί ακόμη και κατά 30 db. [Young, 2007, 431]

Στο άκρο του ακουστικού πόρου βρίσκεται το τύμπανο το οποίο είναι το σημείο επαφής του εξωτερικού και του μέσου ωτός. Το μέσο ακουστικό σύστημα αποτελείται από το τύμπανο και τα τρία οστάρια, δηλαδή την σφύρα, τον άκμονα και τον αναβολέα. Το εξωτερικό με το μέσο αυτί είναι χωρισμένα με στεγανό τρόπο ενώ στο μέσο τμήμα υπάρχει ένα σύστημα, οι ευσταχιανές σάλπιγγες, το οποίο λειτουργεί ως εξισορροπιστής για τη διαφορά μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής πίεσης. Το ηχητικό σήμα το οποίο περνά μέσω του ακουστικού πόρου καταλήγει στο τύμπανο το οποίο με τη σειρά του δονείται σύμφωνα με την διαταραχή που προκαλεί το προσλαμβανόμενο ηχητικό κύμα. Το τύμπανο είναι κατ' ουσίαν μια τεταμένη μεμβράνη ελέγχεται από τον τυμπανικό μυ. Το μικρότερο πλάτος της δόνησης του τυμπάνου μπορεί να είναι μόλις 10^{-8} mm ενώ η δόνηση των μεμβρανών που μεταδίδουν αυτή τη δόνηση είναι 100 φορές μικρότερη. Η μετατόπιση των μορίων του αέρα μέσω του τυμπάνου μετατρέπεται σε μηχανική δόνηση που εν συνεχεία μεταδίδεται στα οστάρια τα οποία με τη σειρά τους τη μεταδίδουν στο εσωτερικό ακουστικό σύστημα.

Τα οστάρια διαθέτουν τέτοιο σχήμα ώστε να πολλαπλασιάσουν την δόνηση του τυμπάνου, η οποία μπορεί να είναι πολύ ασθενής, κατά 1.5 φορά. Ο αναβολέας, το τελευταίο οστάριο σε αυτό το σύστημα μοχλών, βρίσκεται σε επαφή με την ωοειδή θύρα, την είσοδο του εσωτερικού συστήματος. Η διαφορά εμβადού μεταξύ τυμπάνου και ωοειδούς θύρας προκαλεί μια περαιτέρω αύξηση της έντασης της διαταραχής κατά περίπου 20 φορές ώστε να γίνει αντιληπτή από τα εξαιρετικά ευαίσθητα όργανα του εσωτερικού ακουστικού συστήματος. [Young, 2007, 433] Το εσωτερικό ακουστικό σύστημα αποτελείται από τα ημικυκλικά κανάλια και τον κοχλία. Τα ημικυκλικά κανάλια είναι αισθητήρες υπεύθυνοι για την ισορροπία του ανθρώπου.

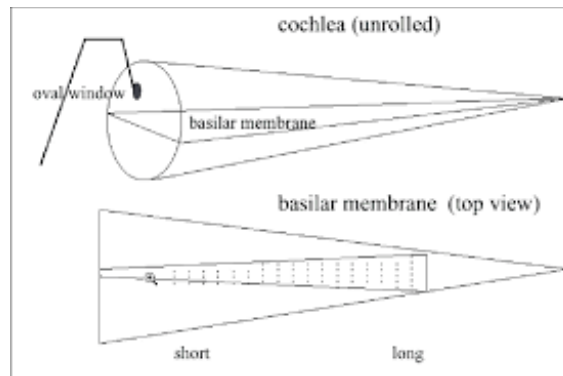
Ο κοχλίας ο οποίος είναι γεμάτος με δύο υγρά, την περιλύμφη και την ενδολύμφη, αποτελείται από τρεις διακριτούς θαλάμους: την αιθουσαία κλίμακα, την τυμπανική κλίμακα και τον κοχλιακό πόρο. Η περιλύμφη περιέχεται στις δύο κλίμακες ενώ η ενδολύμφη στον κοχλιακό πόρο. Τα τοιχώματα που σχηματίζουν τους θαλάμους –την αιθουσαία κλίμακα και την τυμπανική κλίμακα– σχηματίζονται από δύο μεμβράνες, τη μεμβράνη του Reissner και τη βασική μεμβράνη αντιστοίχως. Ο κοχλιακός πόρος είναι ο χώρος μεταξύ των δύο μεμβρανών. Ο κοχλίας είναι κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταδίδει προς επεξεργασία στον εγκέφαλο τις περισσότερες δυνατές πληροφορίες που περιέχονται σ' αυτές τις διαταραχές. [Young, 2007, 435] Η χρονική κλίμακα αυτών των διαταραχών κυμαίνεται από τα μερικά δέκατα του millisecond μέχρι και μερικά microseconds.

Η βασική μεμβράνη είναι εκείνη που αντιδρά, δονούμενη, στη διαταραχή που έχει προκληθεί από το ακουστικό ερέθισμα και σε αυτήν οφείλεται η περαιτέρω μετάδοσή του. Πάνω στην επιφάνεια της βασικής μεμβράνης ακουμπά το όργανο του Corti, μια ζελατινοειδής μάζα, το

οποίο είναι υπεύθυνο για την μετατροπή της μηχανικής διαταραχή του αρχικού ηχητικού σήματος σε νευρικούς παλμούς. Για τον σκοπό αυτό, το όργανο του Corti αποτελείται από τριχοειδή κύτταρα στα οποία εφάπτονται νευρικές ίνες. Οι ίνες (clia) του κάθε τριχοειδούς κυττάρου διεγείρονται μετατρέποντας τις δονήσεις σε ηλεκτρικούς παλμούς, τον κώδικα του εγκεφάλου, οι οποίοι διεγείρουν στη συνέχεια τις νευρικές ίνες του ακουστικού νεύρου. Από το ακουστικό νεύρο οι ηλεκτρικοί παλμοί οδηγούνται στον ακουστικό φλοιό προς επεξεργασία.

Ο κοχλίας είναι υπεύθυνος για την αρχική ανάλυση συχνότητας και τη συμπίεση (compression) του προσλαμβανόμενου σήματος που έχουν σαν αποτέλεσμα τη αύξηση του δυναμικού εύρους του ηχητικού σήματος για την καλύτερη επεξεργασία από το νευρικό ακουστικό σύστημα. [Young, 2007, 452]

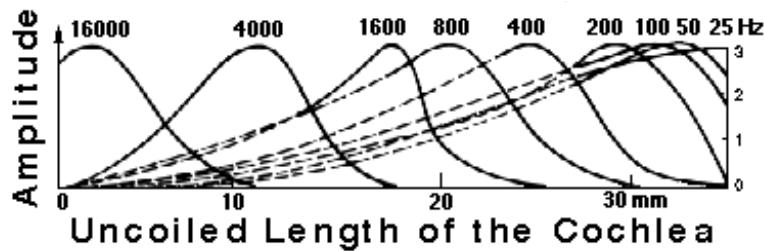
Η βασική μεμβράνη, αν και είναι περιελιγμένη μέσα στον κοχλία, κατ' ουσίαν λειτουργεί σαν ένα συνεχές, με σταθερό το ένα άκρο και ελεύθερο το άλλο, μέσω του οποίου μεταδίδεται το επεξεργασμένο ηχητικό κύμα:



Η περιλύμφη που βρίσκεται μέσα την αιθουσαία κλίμακα βοηθά, με τη μετάδοση υδραυλικών κυμάτων, την διαταραχή της βασικής μεμβράνης. Η βασική μεμβράνη, λόγω της κατασκευής της είναι περισσότερη άκαμπτη στο σταθερό της άκρο, κοντά στην ωοειδή θύρα, και περισσότερο ελαστική καθώς η διαταραχή πλησιάζει το ελεύθερο άκρο. Εξαιτίας αυτής της δομής, το αρχικό τμήμα της βασικής μεμβράνης αντιδρά στις υψηλές συχνότητες ενώ οι πολύ χαμηλές στο τελευταίο τμήμα της και αντιστοίχως τα τριχοειδή κύτταρα τα οποία βρίσκονται κατά μήκος της. Εφόσον οι χαμηλές συχνότητες έχουν να διανύσουν “μεγαλύτερη απόσταση” ώστε να φτάσουν στα κύτταρα που είναι υπεύθυνα για την συλλογή τους η διαταραχή φτάνει εκεί ασθενέστερη. [Young, 2008, 441]

Από την άλλη, από το γεγονός ότι το αρχικό τμήμα είναι άκαμπτο στην αρχή του εξηγείται η επίσης ασθενής ευαισθησία του ακουστικού συστήματος στις πολύ υψηλές συχνότητες. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το βέλτιστο αποτέλεσμα της μετάδοσης της διαταραχής βρίσκεται μεταξύ των 2000 και 5000 Hz.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το πλάτος της μετατόπισης της βασικής μεμβράνης σε συνάρτηση με την συχνότητα του ηχητικού ερεθίσματος.



Η πρώτη εκτίμηση για την συχνότητα ενός ηχητικού ερεθίσματος γίνεται μέσα στον κοχλία. Από το διάγραμμα γίνεται φανερό ότι τα διάφορα τμήματα της βασικής μεμβράνης διεγείρονται από τη συλλογή ερεθισμάτων ενός εύρους συχνοτήτων λειτουργώντας σαν ζωνοπεράτα φίλτρα (bandpass filters). [von Békésy, 1960] Το εύρος αυτών των ζωνών αλληλεπικαλύπτονται και το γεγονός αυτό θεωρείται υπεύθυνο για αρκετά ψυχοακουστικά φαινόμενα, μεταξύ αυτών η συμφωνία και διαφωνία ενός ήχου, όπως θα δούμε στο τρίτο μέρος της εργασίας, με την θεωρία κρίσιμης ζώνης.

Ένα ενδεικτικό μέτρο σύγκρισης για την ευαισθησία του ανθρώπου στους ήχους γίνεται φανερό αν λάβουμε υπόψη ότι το αυτί μπορεί να συλλάβει ερεθίσματα τα οποία αντιστοιχούν σε μεταβολές πίεσης της τάξεως του 10^{-9} της ατμοσφαιρικής πίεσης. Απ' αυτό το κατώφλι μέχρι το όριο όπου ένας ήχος παύει να είναι ανεκτός λόγω έντασης και αγγίζει το όριο του πόνου η πίεση είναι 1.000.000 φορές μεγαλύτερη. Η ενέργεια ενός πολύ δυνατού ήχου είναι 10^{12} φορές μεγαλύτερη από τον χαμηλότερο ήχο που μπορεί να ακουστεί.

Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της βασικής μεμβράνης, ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί απειροελάχιστες διακυμάνσεις ως προς τον τόνο και τον ρυθμό. Σύμφωνα με ένα πείραμα του Helmholtz το 1885 ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί να αντιληφθεί τη ασυμφωνία μεταξύ δύο ασυγχρόνιστων μετρονόμων που βηματοδοτούν με διαφορά ενός εκατοστού του δευτερολέπτου. Το ίδιο ισχύει και για την αντίληψη δύο διαδοχικών τόνων που διαφέρουν μεταξύ τους κατά 0.5% της συχνότητας για τη ζώνη συχνοτήτων 1000 έως 4000 Hz. Σε μια ανάλογη περίπτωση, όπως μαρτυρά η ύπαρξη του κινηματογράφου, το σύστημα όρασης θα αποτύγχανε διακρίνει δύο ξεχωριστές εικόνες με μια διαφορά της τάξεως του 1/24 του δευτερολέπτου ως προς την αλληλοδιαδοχή τους. [von Helmholtz, 1885, 173]

2.2.3 Μέθοδοι αναπαράστασης του νευρικού ακουστικού συστήματος

Για τη μελέτη των λειτουργιών του κεντρικού νευρικού συστήματος του ανθρώπινου εγκεφάλου η νευροεπιστήμη έχει αναπτύξει μη επεμβατικές μεθόδους νευροαπεικόνισης για τη μελέτη των εγκεφαλικών λειτουργιών ανώτερης τάξης. Πέραν των διαγνωστικών και των στατιστικών τεστ οι ψυχοακουστικές μελέτες έχουν να αντλήσουν πολύ σημαντικές πληροφορίες από τη χρήση επιστημονικών μεθόδων ανίχνευσης της λειτουργίας του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος κατά της διάρκεια της ακρόασης ποσοτικοποιώντας την φλοιική και υποφλοιική εγκεφαλική λειτουργία.

Γι' αυτόν το σκοπό χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι οι οποίες μας δίνουν φυσιολογικές πληροφορίες για την αντίληψη του ήχου. Τέτοιες μέθοδοι είναι η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (Electroencephalography, EEG), η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (functional Magnetic Resonance Imaging), και η Pupillometry.

Από τις πρώτες μεθόδους ανίχνευσης της εγκεφαλικής λειτουργίας ήταν η μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας στον ανθρώπινο εγκέφαλο ή αλλιώς EEG το 1929 από τον Berger. Η διαδικασία της μέτρησης γίνεται με τη χρήση ηλεκτροδίων τα οποία τοποθετούνται στο ανθρώπινο κρανίο και καταγράφουν τις διαφορές δυναμικού μεταξύ διαφορετικών σημείων. Ο αριθμός των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται κυμαίνεται από 19 έως 64 ενώ οι μετρήσεις δυναμικού που καταγράφουν κυμαίνονται μεταξύ 100 και 500 το δευτερόλεπτο. Το δείγμα των μετρήσεων συλλέγεται σε ένα χρονικά διάστημα που μπορεί να διαρκεί από μερικά λεπτά μέχρι και ολόκληρα 24ώρα. Η Η διαφορά μεταξύ δύο σημάτων μεταφέρονται κατόπιν σε ένα διαφορικό ενισχυτή και καταγράφονται ως διαφορά δυναμικού. Τα διάφορα συμπεράσματα που προκύπτουν από ένα δείγμα EEG βασίζονται σε τρεις παραμέτρους: τη ρυθμικότητα, την ένταση και την τοπικότητα της εγκεφαλικής λειτουργίας.

Κατ' ουσίαν, αυτό που ενδιαφέρει κατά την EEG δεν είναι το ηλεκτρικό δυναμικό κατά απόλυτη τιμή. Είναι η περιοδική ρυθμική μεταβολή του, η οποία αφού διαχωριστεί από τα περιβάλλοντα σήματα, δίνει πληροφορίες για την χωρική της δομή. Απομονώνοντας έτσι μη τυχαία επαναλαμβανόμενα μοτίβα των τιμών μπορούμε να εξάγουμε μια κυματομορφή. Η παρουσία ή η απουσία αυτών των ρυθμικών μοτίβων είναι ενδεικτική για τον εντοπισμό των τμημάτων εκείνων του εγκεφάλου που βρίσκονται σε λειτουργία κατά τη φάση της μέτρησης. [Baier & Hermann, 2009, 14-15]

Η ένταση των ρυθμικών σημάτων είναι ενδεικτική του βαθμού της λειτουργίας των νευρικών κυττάρων. Όσο περισσότερα νευρικά κύτταρα εμπλέκονται σε μια εγκεφαλική διαδικασία τόσο μεγαλύτερη είναι και η ένταση του σήματος που καταγράφεται. Αντιστοίχως, η ένταση μας δίνει και χωρικές πληροφορίες για την απόσταση από την επιφάνεια του κρανίου. Όσο πιο κοντά

στην επιφάνεια βρίσκονται τα νευρικά κύτταρα που παράγουν το σήμα τόσο πιο ισχυρή θα είναι και η ένταση του σήματος. Τέλος, η ένταση του ρυθμικού μοτίβου συνδέεται με τον συγχρονισμό των νευρικών κυττάρων: ο υψηλός βαθμός συγχρονισμού αντιστοιχεί σε υψηλή ένταση του καταγραφόμενου μοτίβου.

Η τοπικότητα των νευρικών κυττάρων προκύπτει με αντίστοιχο τρόπο. Εφόσον κάθε εγκεφαλική λειτουργία λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου, το σήμα θα είναι πιο δυνατό στα ηλεκτρόδια που γειτνιάζουν με την περιοχή και ασθενέστερο καθώς οι θέσεις των ηλεκτροδίων απομακρύνονται. Επομένως, η χρήση ικανοποιητικού αριθμού ηλεκτροδίων είναι απαραίτητη και καθιστά την χαρτογράφηση πιο λεπτομερή.

Η μέθοδος της EEG αποτελεί βασικό διαγνωστικό εργαλείο της νευρολογίας και χρησιμοποιούνται από τους νευροεπιστήμονες σχεδόν αποκλειστικά. Παρουσιάζονται ωστόσο αρκετές δυσκολίες κατά την ανάγνωση των αποτελεσμάτων μιας EEG όταν αυτή χρησιμοποιείται για την ακριβή ιχνηλάτησης της εγκεφαλικής λειτουργίας.

Μια μεταγενέστερη νευροαπεικονιστική μέθοδος οι οποία δίνει ακριβέστερες πληροφορίες για την εγκεφαλική λειτουργία είναι η Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (fMRI). Η αρχή λειτουργίας της fMRI βασίζεται στις μεταβολές στην αιμοδυναμική του εγκεφάλου κατά τη νευρωνική δραστηριότητα. Η δραστηριότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου απαιτεί την παρουσία οξυγόνου το οποίο μεταφέρει εκεί η αιμοσφαιρίνη. Καθώς οι νευρώνες τροφοδοτούνται με αίμα, η αναλογία οξυγονωμένου αίματος προς το μη οξυγονωμένο μεταβάλλεται, φθάνει σε μια μέγιστη τιμή και κατόπιν μειώνεται για να επανέλθει στην τιμή ισορροπίας. Από τη διαδικασία αυτή που διαρκεί ορισμένα δευτερόλεπτα προκύπτει ένα σήμα γκαουσιανής κατανομής το οποίο μας δίνει την εξάρτηση αίματος-οξυγόνου και ονομάζεται Blood-Oxygen Level Dependent (BOLD). Οι μεταβολές του BOLD μπορούν να μετρηθούν μέσω μαγνητικού τομογράφου κι έτσι να έχουμε μια πορεία της εξέλιξης του συναρτήσε του χρόνου αν και αυτό δεν γίνεται ακόμη με συνεχή τρόπο λόγω επεξεργαστικών περιορισμών.

Έτσι, από την ιχνηλάτηση της εγκεφαλικής πίεσης του αίματος και μέσω της μέτρησης της BOLD μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τις εκάστοτε περιοχές του εγκεφάλου που βρίσκονται σε διέγερση. (Ogawa, 1990) Αν και πρόκειται για μια πιο κατατοπιστική μέθοδο απ' ό,τι η EEG, η fMRI μας παρέχει λίγες πληροφορίες σχετικά με τις χρονοεξαρτημένες μεταβλητές του ηχητικού φαινομένου μια και λαμβάνει μετρήσεις κάθε 3 δευτερόλεπτα. Ως προς τον ήχο αυτοί οι χρόνοι είναι φυσικά τεράστια. Έτσι, με το fMRI μπορούμε να έχουμε πληροφορίες για το αποτέλεσμα της ενεργοποίησης των νευρωνικών κέντρων αλλά όχι την ακριβή απεικόνιση της λειτουργίας τους.[Teubner-Rhodes & Kuchinsky, 2020, 10]

2.2.4 Το νευρικό ακουστικό σύστημα και η γνωστική του λειτουργία

Απαξ και το ηχητικό σήμα συλληφθεί από το περιφερειακό ακουστικό σύστημα οδηγείται μέσω των νευρικών ινών στον εγκέφαλο και καταλήγει στον ακουστικό φλοιό. Η ακριβής οργάνωση του περιοχών του φλοιού που εμπλέκονται στην αντίληψη του ήχου δεν απολύτως γνωστή. Ωστόσο, με τη χρήση της μεθόδου fMRI, έχουν γίνει αρκετές ανακαλύψεις σχετικά με τις περιοχές του εγκεφάλου που εμπλέκονται στην επεξεργασία των διαφορετικών χαρακτηριστικών του ακουστικού σήματος.

Αρχικά το σήμα που μεταδίδεται μέσω των νευρικών ινών είναι μια ακριβής αναπαράσταση του σήματος όπως διαμορφώθηκε βελτιστοποιημένο στο σύστημα του κοχλία μετά τις διαδικασίες της φασματικής ανάλυσης συχνοτήτων και της συμπίεσης. Επομένως το ηχητικό ερέθισμα φτάνει στον εγκέφαλο ως ένα αρμονικό φάσμα και κατόπιν παίρνει τη μορφή παράγωγων αναπαραστάσεων όπως είναι εκείνη των ηχητικών αντικειμένων (auditory object). [Nelken, 2004] Η διάρθρωση επομένως του ακουστικού φλοιού είναι τονοτοπική με την έννοια ότι τα διαφορετικά κέντρα του είναι οργανωμένα με βάση τη συχνότητα του σήματος. Έτσι, οι περισσότερες ιδιότητες της αντίληψης του ήχου έχουν ως θεμελιώδη διαδικασία την ανάλυση του φάσματος. [Bilecen et al., 1998]

Οι περαιτέρω διαφορετικές αναπαραστάσεις του ηχητικού σήματος στον ακουστικό φλοιό δεν είναι γνωστή, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο το αρμονικό φάσμα μετατρέπεται σε μοτίβα νευρωνικής δραστηριότητας. Για παράδειγμα, η φωνή δεν παρουσιάζει τονοτοπική αναπαράσταση στον ακουστικό φλοιό με την έννοια ότι η δραστηριότητα δεν ακολουθεί με προφανή τρόπο τις συχνότητες μέγιστης ενέργειας, δηλαδή τις formants, όπως συμβαίνει με κατώτερα ακουστικά νευρικά κύτταρα. [Machens et al., 2004].

Η πορεία του ηχητικού σήματος διακλαδώνεται σε ένα πολύπλοκο δίκτυο νευρικών διαδρομών. Τα στάδια της λειτουργίας του εγκεφάλου κατά την πρόσληψη ενός ήχου ιεραρχούνται, από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στάδια, ενώ κάθε κέντρο είναι υπεύθυνο για διαφορετικά επίπεδα αποκωδικοποίησης του σήματος. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του ήχου, μουσικά και μη, αποκωδικοποιούνται από διαφορετικές διακριτές νευρωνικές δομές. [Tirovolas & Levitin, 2009]

Έτσι, για την επεξεργασία των ηχητικών ερεθισμάτων, όπως π.χ. της μουσικής, οι νευροεπιστήμονες που ασχολούνται με τη νευροαισθητική προτείνουν τμηματικά (modular) μοντέλα. [Peretz & Coltheart, 2003; Koelsch & Siebel, 2005] Κατώτερα κέντρα του ακουστικού φλοιού είναι υπεύθυνα για την ακουστότητα και την τονικότητα. Έτσι, η εκτίμηση της τονικότητας

(η απόλυτη τονικότητα, τα διαστήματα, το contour) γίνεται σε κέντρα που τοποθετούνται στον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα (ή συνειρμικό) ακουστικό φλοιό [Foxton & Griffiths, 2008]. Για τις χρονικές ιδιότητες του ήχου, όπως ο ρυθμός και το μέτρο, είναι υπεύθυνα νευρικά κέντρα στα βασικά γάγγλια [Grahn, 2009].

Ωστόσο, το ηχητικό ερέθισμα ενεργοποιεί πλήθος άλλων κέντρων που τοποθετούνται σε άλλα μέρη του φλοιού, πέραν του ακουστικού. Στον προμετωπιαίο φλοιό εντοπίζονται οι λειτουργίες που σχετίζονται με την προσδοκία στη μουσική, την ευχαρίστηση που πηγάζουν από αυτή αλλά και την παραβίαση της προσδοκίας. Στη παρεγκεφαλίδα εντοπίζονται οι λειτουργίες που αφορούν την κίνηση τη σχετική με την αντίληψη του ρυθμού κατά τον χορό ή το παίξιμο ενός μουσικού οργάνου. Επίσης εντοπίζονται λειτουργίες που συνδέονται με την συναισθηματική ανταπόκριση σε ένα ηχητικό ερέθισμα. Στον σωματοαισθητικός φλοιός εντοπίζονται οι λειτουργίες εκείνες που συνδέονται με τις απτικές πληροφορίες κατά το παίξιμο ενός μουσικού οργάνου. [Levitin, 2006]

Πέραν του φλοιού, τα ηχητικά ερεθίσματα σχετίζονται με τη λειτουργία των κατώτερων περιοχών του εγκεφάλου. Στην αμυγδαλή και στον επικλινή πυρήνα επιτελούνται επίσης λειτουργίες που σχετίζονται με την συναισθηματική ανταπόκριση στη μουσική. Ο ιππόκαμπος σχετίζεται με τη μουσική μνήμη και τη μουσική εμπειρία συνδέοντας το ηχητικό ερέθισμα με τα συμφραζόμενά του. [Peretz, 2010]

Συνοψίζοντας, η συνολική διαδικασία για την αντίληψη του ήχου και την αξιολόγηση του από το ακουστικό νευρικό σύστημα χωρίζεται σε τέσσερα στάδια. Αρχικά, το ερέθισμα υπόκειται επεξεργασία στον θάλαμο και ενεργοποιεί τυχόν αντανακλαστικές αντιδράσεις. Μετά, οδηγείται στα ανώτερα κέντρα του ακουστικού φλοιού για την αισθητηριακή επεξεργασία του απ' όπου αντλεί πληροφορίες για τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του, μετατρέποντάς τα, υπό μια έννοια, από αντικειμενικά σε υποκειμενικά. Κατόπιν, οι παράγωγες αναπαραστάσεις του ερεθίσματος υπόκεινται περαιτέρω top-down επεξεργασία από ανώτερα κέντρα ενεργοποιώντας τμήματα του φλοιού που συνδέονται με διαφορετικές λειτουργίες όπως είναι η κίνηση ή η κατηγοριοποίηση του ερεθίσματος κλπ. Τέλος, ενεργοποιείται το σύστημα ανταμοιβής (reward system) που περιλαμβάνει τόσο περιοχές του φλοιού (πρόσθιος φλοιός του προσαγωγίου, κογχομετωπιαίος φλοιός και ραχιοπλευρικός προμετωπιαίος φλοιός) όσο και του υποφλοιού (κερκοφόρος πυρήνας, μέλανα ουσία, και τον επικλινή πυρήνα) αλλά και περιοχές που ρυθμίζουν το σύστημα ανταμοιβής όπως είναι η αμυγδαλή, ο ιππόκαμπος και ο υποθάλαμος. [Nadal, 2009, 178]

Η πλήρης παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο ο εγκέφαλος επεξεργάζεται το ηχητικό ερέθισμα πέραν από αδύνατη είναι και πέραν των σκοπών της παρούσας εργασίας. Ωστόσο, η τμηματική διάρθρωση της αντίληψης του ήχου όπως φάνηκε από τα παραπάνω αρκεί για να

υποστηρίζει την ανάπτυξη των θεωριών περί συμφωνίας και διαφωνίας, όπως και εκείνων που αφορούν τους ενοχλητικούς ήχους και οι οποίες θα παρουσιαστούν στο τελευταίο μέρος της εργασίας.

2.3 Ψυχοφυσιολογικές αντιδράσεις στον ήχο

Ένα ηχητικό σήμα μπορεί να έχει διαφορετικές επιπτώσεις στον άνθρωπο σε επίπεδο φυσιολογίας και ψυχολογίας. Αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να είναι είτε ευεργετικές, λ.χ. να ισοδυναμούν με την έκκριση ντοπαμίνης στον ανθρώπινο εγκέφαλο, είτε επιβλαβείς, λ.χ. να προκαλούν την αίσθηση του πόνου. [Hodges, 2008] Η δυναμική του ηχητικού ερεθίσματος φαίνεται επίσης απ' το γεγονός ότι ένα ηχητικό κύμα μπορεί να ισοδυναμεί με μεταφορά ενέργειας που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ακοής, διάρρηξη του μυϊκού ιστού ή ακόμη και θάνατο.

Το ηχητικό ερέθισμα επιδρά στο σώμα με τρόπους οι οποίοι δεν ακόμη όλοι γνωστοί. Σε φυσιολογικό επίπεδο μπορεί να επιδρά σε διαφορετικές διαδικασίες όπως είναι η λειτουργία της καρδιάς και οι καρδιακοί παλμοί, στην πίεση και στα επίπεδα οξυγόνου του αίματος, στην αναπνοή, στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος, στη μυϊκή τάση, στην συστολή και διαστολή της κόρης του ματιού και σε βιοχημικές διαδικασίες. [Hodges, 2008] Πέραν της επίδρασης στην φυσιολογική κατάσταση του σώματος, ο ήχος μπορεί να προκαλέσει και ανακλαστικές φυσικές αντιδράσεις όπως είναι σύσπαση των μυών, ανατριχίλα με τη μορφή ρίγους ή ενεργοποίηση των δακρυγόνων αδένων. Ως προς το είδος της αντίδρασης, βασικό ρόλο παίζουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του ήχου. Για παράδειγμα οι καρδιακοί παλμοί και η θερμοκρασία του σώματος επηρεάζονται από παραμέτρους όπως είναι ο ρυθμός και η ακουστότητα. [Brattico & Pearce, 2013]

Σημαντικό τμήμα της επιδραστικής ιδιότητας του ήχου στον άνθρωπο είναι και η άμεσες επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στην ψυχολογία του. Για παράδειγμα στη μουσική, υπάρχουν μελωδίες οι οποίες μπορούν να χαρακτηρίζονται χαρούμενες ή λυπημένες προκαλώντας το ανάλογο συναίσθημα στον ακροατή, μελωδίες που προκαλούν την αίσθηση της αγωνίας ή μελωδίες που προκαλούν την αίσθηση του δέους. Ως προς την συναισθηματική ανταπόκριση ο χαρακτήρας του ήχου φαίνεται να επηρεάζεται από παράγοντες που σχετίζονται με την κλίμακα που χρησιμοποιείται, δηλαδή με τον τρόπο που κατανέμονται οι φθόγγοι μέσα σε μία οκτάβα. Όπως προανέφερα στο πρώτο μέρος, το φαινόμενο αυτό ήταν γνωστό από την αρχαιότητα.

Βασικός παράγοντας που επηρεάζει τον χαρακτήρα της μουσικής είναι εκείνος της συμφωνίας και διαφωνίας, τον οποίο θα αναλύσω ξεχωριστά στο τελευταίο μέρος της εργασίας.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας ο οποίος δείχνει να επιδρά σημαντικά στο αποτέλεσμα του ήχου στον άνθρωπο είναι εκείνος της προσδοκίας. Η περίπτωση της μουσικής μοιάζει να είναι υπό μία έννοια η διαρκής εφαρμογή αυτού του φαινομένου. Ήδη αρκετές δεκαετίες πριν την εξέλιξη της νευροεπιστήμης είχε διατυπωθεί η υπόθεση ότι η ανάπτυξη ενός μουσικού θέματος βασίζεται στην δημιουργία προσδοκιών για το τι ακολουθεί μετά. [Meyer, 1956] Αυτό υποδεικνύει και η χρήση των εναλλαγών των μουσικών βαθμίδων από τους συνθέτες. Οι διαφορετικές εναλλαγές των συγχορδιών στην μουσική δημιουργούν στον εγκέφαλο μέσω της επανάληψης ένα μηχανισμό στατιστικής πρόβλεψης για την εξέλιξη τους. [Pearce & Wiggins, 2006] Μέσω αυτού του μηχανισμού, η επικύρωση ή μη της προσδοκίας προκαλεί και τη συναισθηματική ανταπόκριση στη μουσική. Με άλλα λόγια, η ένταση που προκαλούν ορισμένες συγχορδίες και η χαλάρωση καθώς το θέμα επιστρέφει στην τονική, η χρήση γνώριμων μοτίβων, η έκπληξη από την χρήση αναπάντεχων εναλλαγών είναι διαφορετικά γεγονότα που ενεργοποιούν το σύστημα ανταμοιβής του εγκεφάλου. Αξιοσημείωτο είναι ότι το σύστημα ανταμοιβής ρυθμίζεται από την αμυγδαλή και τον υποθάλαμο, τα μέρη του εγκεφάλου που ρυθμίζουν επίσης την αντίδραση *fight or flight*. Έρευνες έχουν δείξει ότι η παραβίαση της προσδοκίας και η ένταση που προκύπτει από αυτή προκαλούν παρόμοια αντίδραση με εκείνη της απειλής. [Huron, 2006]

Μία ακόμη αντίδραση στη μουσική, που σχετίζεται με τον παραπάνω μηχανισμό, είναι αυτή του ρίγους, μιας συγκινησιακής κατάστασης που κορυφώνεται κατά την ακρόαση ενός μουσικού έργου. Το φαινόμενο αυτό που για αιώνες θεωρούνταν μυστηριώδες έγινε αντικείμενο διερεύνησης από πολλούς μουσικολόγους και φιλοσόφους και του αποδόθηκε μεταξύ άλλων το γαλλικό όνομα *frisson*. Γνωρίζουμε πλέον ότι το ρίγος αυτό συνοδεύεται και από μεταβολή στους φυσιολογικούς δείκτες του ακροατή. Οι καρδιακοί παλμοί αυξάνονται, όπως επίσης και ο ρυθμός της αναπνοής ενώ παρατηρείται και μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του δέρματος. [Steinbeis, Koelsch, & Sloboda, 2006].

Όλες αυτές οι διαφορετικές αντιδράσεις στον ήχο είναι μια εκδήλωση από την ανταπόκριση των διαφορετικών περιοχών του εγκεφάλου που εμπλέκονται στην επεξεργασία του ηχητικού ερεθίσματος.

3. Αισθητικές και Νευροαισθητικές διαστάσεις της αντίληψης του ήχου

Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας θα παρουσιάσουμε τις διαφορετικές προσεγγίσεις γύρω από την ανθρώπινη αντίληψη της συμφωνίας και διαφωνίας των τονικών ήχων καθώς και την περίπτωση των ήχων που είναι απωθητικοί για τον άνθρωπο.

3.1 Θεωρήσεις της αισθητηριακής και μουσικής συμφωνίας/διαφωνίας

Οι θεωρίες που έχουν προταθεί για τον βαθμό συμφωνίας και διαφωνίας των ήχων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

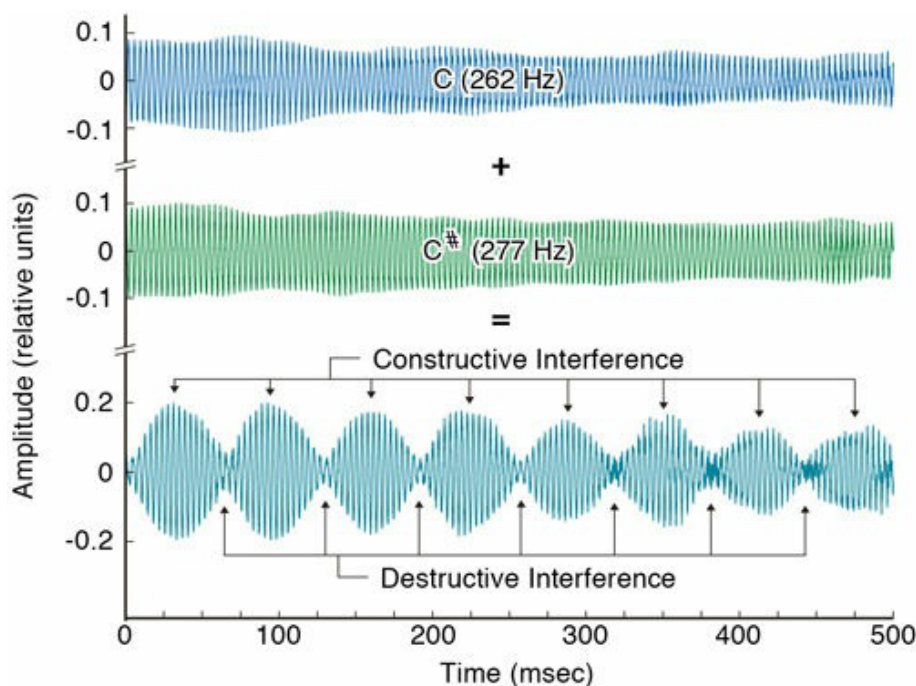
Πρώτον, υπάρχουν οι θεωρίες που βασίζουν τη συμφωνία των ήχων στην μαθηματική απλότητα της αναλογίας μεταξύ των θεμελιωδών συχνοτήτων δύο διαφορετικών ήχων, δηλαδή εκείνες που προέρχονται από το πυθαγόρειο σύστημα, και τις οποίες παρέθεσα στο πρώτο μέρος της εργασίας. Δεύτερον υπάρχουν οι φυσικές θεωρίες που βασίζουν την εκτίμηση της συμφωνίας στο βαθμό συσχέτισης και αλληλεπικάλυψης των αρμονικών συχνοτήτων δύο ήχων οι οποίες καταλήγουν, αφού συνδυαστούν με τη φυσιολογία του ακουστικού συστήματος, στη θεωρία των διακροτημάτων του Helmholtz και τη θεωρία κρίσιμων ζωνών. Και τέλος, οι βιολογικές θεωρίες που σχηματίζουν το πεδίο της εξελικτικής αισθητικής, οι οποίες αναζητούν τους παράγοντες που έχουν διαμορφώσει την αντίληψη της συμφωνίας στους μηχανισμούς λειτουργίας του εγκεφάλου μέσα από την εξέλιξη του ανθρώπου.

3.1.1 Η φυσική θεωρία των διακροτημάτων του Helmholtz

Με τις έρευνες για την αρμονική σειρά και τους διαφορετικούς τρόπους ταλάντωσης των φυσικών συστημάτων, η συμφωνία και η διαφωνία των ήχων αποδιδόταν στο αρμονικό περιεχόμενο των ήχων. Ο Helmholtz ακολούθησε την κατεύθυνση των προηγούμενων φυσικών και μαθηματικών σύμφωνα με την οποία η συμφωνία στην μουσική θα έπρεπε να εξηγείται από τον συσχετισμό των αρμονικών σειρών κατά τη συμβολή των κυματομορφών τους. Σύμφωνα με τη Φυσική της εποχής δύο τόνοι γίνονταν αντιληπτοί από τον άνθρωπο ως αρμονικοί βάσει των αναλογιών των επιμέρους υπερτόνων τους, έτσι οι τόνοι που ακούγονταν αρμονικοί θα έπρεπε να έχουν κοινές αρμονικές. Αυτή η ιδέα απηχούσε την πυθαγόρεια προσέγγιση αφού και πάλι ο βαθμός συμφωνίας εξαρτιόταν από τη μαθηματική απλότητα, δηλαδή την αναλογία των ακεραίων.

Ο Helmholtz διεύρυνε την ιδέα αυτή στη βάση της συμβολής των κυμάτων. Όταν δύο τόνοι συνηχούν οι αρμονικές σειρές τους επίσης αλληλεπιδρούν με αποτέλεσμα να εμφανίζονται καταστροφικές και δημιουργικές συμβολές δημιουργώντας διακροτήματα, δηλαδή περιοδικές αυξομειώσεις του πλάτους με συγκεκριμένο ρυθμό. [Helmholtz, 1885] Παρατήρησε μέσω πειραμάτων ότι ορισμένοι συνδυασμοί τόνων παρουσιάζουν πιο έντονες διακυμάνσεις ως προς το πλάτος των αλληλοεπιδρώντων συχνοτήτων και ότι είναι εκείνοι που χαρακτηρίζονται ως διάφωνοι. Επομένως, η περίοδος αυτών των διακυμάνσεων θα έπρεπε να επηρεάζει την ποιότητα του ήχου. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του όταν ο ρυθμός αυξομείωσης του πλάτους ήταν μεταξύ των 15 και 30 ανά second παρουσιαζόταν η μεγαλύτερη διαφωνία και ο ήχος ακουγόταν σκληρός. Καθώς ο ρυθμός αύξανε η διαφωνία εξαφανιζόταν κάνοντας τον ήχο να ακούγεται πιο απαλός. Υπέθεσε έτσι ότι αυτή η ιδιότητα των ήχων, η σκληρότητα τους, θα είναι και ένας δείκτης για τον βαθμό συμφωνίας. Όρισε έτσι τους σύμφωνους ήχους ως εκείνους που δεν παρουσιάζουν την ιδιότητα αυτή. Ταυτόχρονα, απέδωσε στο φαινόμενο μια φυσιολογική βάση εικάζοντας ότι αυτή διακεκομμένη διέγερση των ακουστικών νεύρων εμποδίζει την εξοικείωση με τους σκληρούς ήχους δημιουργώντας μια δυσάρεστη αίσθηση έντασης. [Helmholtz, 1885, 227]

Με αυτόν τον τρόπο έθεσε με επιστημονικούς όρους μια κλίμακα ιεράρχησης των αρμονικών διαστημάτων στη Μουσική. Η κατάταξη αρμονικότητας που προέκυψε από τη μέθοδο του Helmholtz επαλήθευε κατά πολύ μεγάλο βαθμό με την εμπειρία των περισσότερων ανθρώπων τοποθετώντας στην πρώτη θέση την συνήχηση ήχων που απέχουν απόσταση μιας οκτάβας (υψηλός ρυθμός διακύμανσης πλάτους) στην τελευταία το διάστημα δευτέρας (χαμηλός ρυθμός διακύμανσης πλάτους).

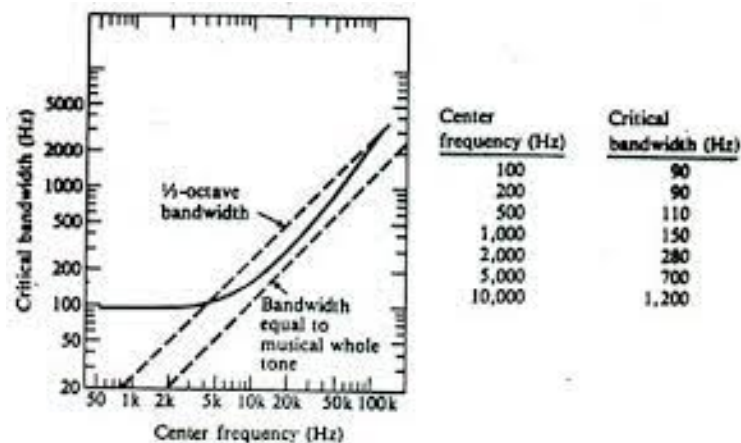


3.1.2 Η φυσιολογική θεωρία των Κρίσιμων Ζωνών

Η θεωρία των κρίσιμων ζωνών στοιχειοθετήθηκε αρχικά μέσα από τις εργασίες του Georg von Békésy [1899-1972] τις δεκαετίες του '40 και του '50 και παρουσιάστηκε κατόπιν, σε μια πιο ολοκληρωμένη μορφή, από τους Plomp και Levelt σε μια κοινή τους δημοσίευση το 1965 [Plomp & Levelt, 1965].

Ο von Békésy προσδιόρισε τον τρόπο με τον οποίο διαταράσσεται η βασική μεμβράνη από διαφορετικούς απλούς τονικούς ήχους. Δημιούργησε έτσι ένα χάρτη συχνοτήτων κατά μήκος της βασικής μεμβράνης που αναπαριστούσε τα τμήματα τα οποία αντιδρούν σε συγκεκριμένα εύρη συχνοτήτων. Κάθε τέτοιο τμήμα ονομάστηκε κρίσιμη ζώνη της βασικής μεμβράνης. Η κρίσιμη ζώνη της βασικής μεμβράνης είναι το εύρος εκείνων των συχνοτήτων στο οποίο διαφορετικοί τόνοι, παραπλήσιων συχνοτήτων, διεγείρουν κοινά τριχοειδή κύτταρα. [von Békésy, 1960] Με αυτό τον τρόπο ήταν πλέον εφικτό να συσχετιστούν οι ψυχοακουστικές παράμετροι με τη συμπεριφορά της βασικής μεμβράνης κατά την ανίχνευση της τονικότητας. [Bowling & Purves, 2015, 2]

Οι κρίσιμες ζώνες της βασικής μεμβράνης είναι κατά προσέγγιση 24, ενώ το μήκος του τμήματος της βασικής μεμβράνης που είναι υπεύθυνο για καθεμιά απ' αυτές υπολογίζεται περίπου στα 1.3 mm. Ωστόσο, το εύρος της κάθε συχνότητας δεν είναι σταθερό. Μεταβάλλεται ανάλογα με την κεντρική συχνότητα. Για τις χαμηλές συχνότητες το εύρος παραμένει σταθερό ενώ για τις υψηλότερες είναι περίπου ανάλογο με την τιμή της κεντρική συχνότητας. Το εύρος για τις περισσότερες κρίσιμες ζώνες αντιστοιχεί σε διάστημα ίσο με 1/3 μιας οκτάβας. [Γεωργάκη, 2016, 24]



Με την ανακάλυψη των κρίσιμων ζωνών θα μπορούσε να εξηγηθεί και η λειτουργία της συμφωνίας των ήχων βάσει των προαναφερθέντων διακυμάνσεων πλάτους κατά τη συμβολή δύο ηχητικών κυμάτων. [Greenwood, 1961] Όταν δύο τόνοι παραπλήσιας συχνότητας εμπίπτουν στην περιοχή της ίδιας κρίσιμης ζώνης αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διεγείρουν τα ίδια τριχοειδή κύτταρα τα οποία αντιδρώντας στην έντονη αυξομείωση πλάτους να δημιουργούν την αίσθηση

σκληρότητας του ήχου και άρα της διαφωνίας του. Αναλόγως, όταν δύο ήχοι εμπίπτουν σε διαφορετικές κρίσιμες ζώνες, η συνήχηση τους ακούγεται αρμονικότερη και η συμβολή τους είναι εκτός της περιοχής σκληρότητας.[Plomp & Levelt, 1965] Έτσι, το εύρος, ίσο με το 1/3 της οκτάβας ήταν υπεύθυνο για την δυσαρμονία διαστημάτων γειτονικών φθόγγων στη μουσική, τα οποία όντας αρκετά μικρά (φέρ' ειπείν, το διάστημα 2ας ή και 3ης) έχουν σαν αποτέλεσμα να εμπίπτουν μέσα στην ίδια κρίσιμη ζώνη. Για τον ίδιο λόγο ότι τα δυσαρμονικά διαστήματα ακούγονται λιγότερο δυσαρμονικά όσο η οκτάβα τους χαμηλώνει.

Μια ακόμη διάσταση των κρίσιμων ζωνών, ήταν ότι με αυτό τον ίδιο τρόπο έγινε εφικτό να συσχετιστούν και άλλα ψυχοακουστικά φαινόμενα με την φυσιολογική συμπεριφορά της βασικής μεμβράνης, όπως το φαινόμενο της κάλυψης.

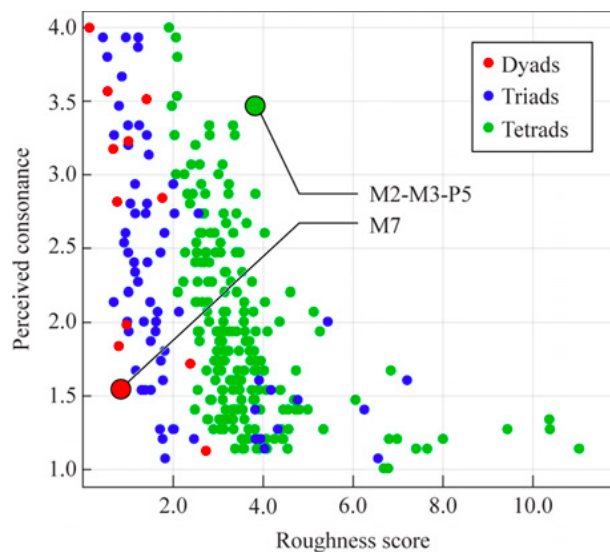
Η δυνατότητα της θεωρίας κρίσιμων ζωνών να συνδυάζει τη φυσιολογική και την ψυχοακουστική διάσταση της αντίληψης του ήχου μέσω της χαρτογράφησης της λειτουργίας της βασικής μεμβράνης συνετέλεσε στο να παραμείνει η κυρίαρχη θεωρία για τη συμφωνία των ήχων. Στην πάροδο του χρόνου η συμφωνία αυτή κατέληξε να ονομάζεται “αισθητηριακή συμφωνία” ώστε να διαφοροποιηθεί από τη μουσική συμφωνία μια και όπως αποδείχθηκε μεταγενεστέρως ερχόταν σε αντίφαση με αρκετά άλλα φαινόμενα της αντίληψης του ήχου.

3.1.3 Η θεώρηση της εξελικτικής αισθητικής

Το πρόβλημα τόσο με τη θεωρία των διακροτημάτων όσο και τη συνακόλουθη θεωρία των κρίσιμων ζωνών έγκειται στο ότι εξάγουν τα συμπεράσματα για την συμφωνία από την έλλειψη διαφωνίας. Για πολλούς σύγχρονους επιστήμονες κάτι τέτοιο δεν είναι αρκετό εφόσον η θεωρία της σκληρότητας του ήχου προσδιορίζει ενδεχομένως σε ένα βαθμό τη λειτουργία της συμφωνίας χωρίς όμως να δίνει απάντηση στο *γιατί* η αντίληψη του ήχου να λειτουργεί κατ' αυτό τον τρόπο. Το ερώτημα αυτό απαιτεί εξηγήσεις που εμπίπτουν στο πεδίο της νευροαισθητικής.

Εκείνο που οδηγεί τους επιστήμονες να αναζητήσουν το ρόλο της μουσικής συμφωνίας στη δευτερογενή επεξεργασία του ηχητικού ερεθίσματος, δηλαδή στην επεξεργασία από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, είναι, μεταξύ άλλων, ορισμένα φαινόμενα τα οποία θέτουν τη θεωρία κρίσιμων ζωνών υπό αμφισβήτηση. Πρώτον, μέσω πειραμάτων έχει παρατηρηθεί ότι η αίσθηση της διαφωνίας παραμένει ακόμη και όταν δύο ηχητικά ερεθίσματα προσληφθούν διχωτικά, δηλαδή από το κάθε αντί ξεχωριστά. Σε αυτή την περίπτωση ενώ δεν υφίσταται η συμβολή των δύο ηχητικών κυμάτων σε αρχικό στάδιο, παρά δηλαδή την εξάλειψη της σκληρότητας από το ηχητικό ερέθισμα, η διαφωνία παραμένει. Αυτό υποδεικνύει τουλάχιστον ότι η βασική μεμβράνη δεν είναι το

μοναδικό τμήμα που είναι υπεύθυνο για την αίσθηση της διαφωνίας και ότι αυτή μπορεί κάλλιστα να προκαλείται σε μεταγενέστερο στάδιο [McDermott et al., 2010]. Δεύτερον, αν η θεωρία της σκληρότητας ίσχυε τότε θα έπρεπε να αντικατοπτρίζεται και στις μουσικές συγχορδίες. Καθώς οι τόνοι που απαρτίζουν μια συγχορδία αυξάνονται, ταυτόχρονα αυξάνει και η σκληρότητα του ήχου. Έτσι, θα έπρεπε π.χ. οι τετράφωνες συγχορδίες να ηχούν διάφωνες σε σύγκριση με μια δίφωνη συγχορδία. Ωστόσο, έρευνες δείχνουν ότι μια δίφωνη συγχορδία (με μικρό βαθμό σκληρότητας) μπορεί να γίνεται αντιληπτή ως περισσότερο διάφωνη από μια τετράφωνη συγχορδία (με μεγαλύτερο βαθμό σκληρότητας), η οποία μπορεί να κρίνεται ιδιαίτερος σύμφωνη. [Bowling, 2012]



Μια ακόμη πρόσφατη έρευνα, των McDermott, Lehr και Oxenham αποδεικνύει ότι η ιεράρχηση της σκληρότητας και της μουσικής συμφωνίας αποτελούν δύο εντελώς ανεξάρτητες διαδικασίες. [McDermott et al., 2010] Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η έρευνα των Cousineau, McDermott και Peretz μελετώντας την περίπτωση ατόμων που παρουσιάζουν γενετική αμουσία. Η συγκεκριμένη ιδιομορφία εμποδίζει το άτομο από το να αναγνωρίζει τη μουσικότητα των ήχων, δηλαδή τον βαθμό συμφωνίας τους. Η έρευνα αποδεικνύει ωστόσο ότι άτομα με γενετική αμουσία μπορούν να κατατάξουν τον ήχο ανάλογα με τη σκληρότητα του. Όλα τα παραπάνω συνηγορούν υπέρ μιας εξήγησης της μουσικής συμφωνίας η οποία θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη της σκληρότητας.

Σύμφωνα με την προσέγγιση των εξελικτικών βιολόγων, όπως διαμορφώθηκε αρχικά στη θεωρία της φυσικής επιλογής του Δαρβίνου, θα πρέπει να υπήρξαν κάποιοι βιολογικοί παράγοντες καταλυτικής σημασίας για τη διαμόρφωση της μουσικής συμπεριφοράς του ανθρώπου.

3.1.3.a Ευρήματα της Παλαιoανθρωπολογίας

Το αρχαιότερο μουσικό όργανο που έχει ανακαλυφθεί από παλαιoανθρωπολόγους είναι ένας αυλός ο οποίος κατασκευάστηκε περίπου 32.000 χρόνια πριν. Η απόσταση μεταξύ των οπών αποδεικνύει ότι οι άνθρωποι, χιλιετίες πριν από εμάς, παρουσίαζαν τις ίδιες προτιμήσεις ως προς τους μουσικούς τόνους και τα διαστήματα που θεωρούσαν αρμονικά. Η κατασκευή του οργάνου βασιζόταν στα ίδια μουσικά κριτήρια με τη σύγχρονη εποχή και δεν απείχε πολύ από την κατασκευή μιας σύγχρονης φλογέρας. Πέρα από την παράδοση ή αναμενόμενη ομοιότητα, η συγκεκριμένη ανακάλυψη μας δείχνει ότι η μουσική αποτέλεσε μέρος της καθημερινότητας του ανθρώπου από τα αρχικά στάδια της παρουσίας του στον πλανήτη.

Η μουσική υπήρξε εξαρχής μέρος της κοινωνικής ζωής και απαραίτητο στοιχείο για την αναγκαία συσπείρωση των ανθρώπων σε ομάδες. Η συμμετοχή των προϊστορικών ανθρώπων σε κοινές τελετουργικές, μουσικές εμπειρίες εικάζεται ότι θα συνέτεινε στο να διαμορφωθεί η αίσθηση του ανήκειν, η κοινή ταυτότητα των μελών της ίδιας κοινότητας. [Pinker 1997, 37] Από την άλλη, η επίδειξη των μουσικών ικανοτήτων ενδεχομένως να ήταν ο τρόπος της επιλογής ερωτικών συντρόφων εφόσον αποτελεί δείκτη για άλλες πνευματικές ποιότητες του ατόμου που συνδέονται με την επιβίωση. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η ικανότητα του ανθρώπου στην οργάνωση αλληλουχιών διαφορετικών τόνων, αλλά και στη διαχείριση ρυθμικών μοτίβων, συνδέεται με την ανάπτυξη των νευρωνικών δικτύων που σχετίζονται με την ικανότητα προσήλωσης, στοιχείο που συνιστά εξελικτικό πλεονέκτημα [Miller 2000]. Δεδομένου ότι η μουσική στα πρώτα στάδια της εξέλιξης της συνοδευόταν από τον χορό, πέραν από την επίδειξη των μουσικών ικανοτήτων, οι χορευτικές ικανότητες αποτελούσαν ένα δείκτη της φυσικής κατάστασης του υποψήφιου συντρόφου που θα τον καθιστούσε επικρατέστερο απέναντι σε κάποιον άλλο [Levitin 2009, 213]. Μία ακόμη πιθανή λειτουργία της μουσικής συμπεριφοράς που έκανε τον άνθρωπο να στραφεί στη παρατήρηση των ήχων και στην επινόηση τρόπων ώστε να τους παράξει είναι και η χρήση τους για την προσέλκυση λείας στην διαδικασία του κυνηγιού ή τη μεταφορά του μηνύματος του συναγερμού στα υπόλοιπα μέλη της ομάδας. Άλλωστε, η μίμηση ήχων δεν αποτελεί αποκλειστικό προνόμιο του ανθρώπου. Αρκετά ζωικά είδη χρησιμοποιούν τη μίμηση ήχων για λόγους εξαπάτησης της λείας τους ή προσέλκυση ενός ερωτικού συντρόφου.

Επιπλέον, υπάρχουν στοιχεία ότι η μουσική στους ανθρώπους προηγήθηκε της γλώσσας και ενδεχομένως σε αυτό να εδράζεται η εξήγηση του γιατί η μουσική και οι ήχοι εν γένει είναι ικανοί να πυροδοτήσουν συναισθήματα και αντιδράσεις που προηγούνται του λόγου και της σκέψης. Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι ο άνθρωπος παρατήρησε από νωρίς τους ήχους του περιβάλλοντος και προσπάθησε να τους μιμηθεί με τη φωνή του, (το τραγούδι δεν είναι άραγε ένας

τρόπος να μιμηθούμε τις μελωδικές φωνές των πουλιών;) αλλά και με τεχνητούς τρόπους κι έτσι οδηγήθηκε στην κατασκευή μουσικών οργάνων.

Αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι οι άνθρωποι των σπηλαίων, πριν την ανακάλυψη της φωτιάς ζούσαν, το μεγαλύτερο μέρος της μέρας στο απόλυτο σκοτάδι, προφυλαγμένοι από τον κίνδυνο της συνάντησης με άγρια ζώα. Έτσι, ο ήχος θα έπρεπε να ήταν εκείνο στο οποίο θα βασίζονταν ώστε να αντλήσουν τις περισσότερες πληροφορίες για το περιβάλλον τους. Στο απόλυτο σκοτάδι, η ακοή αλλά και η παραγωγή ήχων, είτε μέσω της ομιλίας είτε με τεχνητούς τρόπους, αποκτά μέγιστη σημασία ως μοναδικό μέσο επαφής με τον εξωτερικό κόσμο.

Οι μελετητές των σπηλαίων έχουν κάνει ορισμένες ανακαλύψεις που δείχνουν σε αυτή την κατεύθυνση με αφορμή τις σπηλαιογραφίες που έχουν ανακαλυφθεί. Το ερώτημα που προκύπτει σχετικά με αυτές τις πρώτες εικαστικές δημιουργίες αφορά στο κριτήριο με το οποίο επιλέχθηκε το σημείο για την κάθε τοιχογραφία. Χωρίς να υπάρχουν στοιχεία που να υποδεικνύουν πρακτικούς λόγους για την επιλογή των θέσεων των τοιχογραφιών οι ανθρωπολόγοι υπέθεσαν, ωστόσο, ότι οι θέσεις δεν μπορεί να είναι τυχαίες. Μια πιο προσεκτική εξέταση έδειξε ότι σε σημεία κοντά στις τοιχογραφίες υπήρχαν τεχνητές αλλοιώσεις στα πετρώματα οι οποίες είχαν προέλθει από χτυπήματα με πέτρες. Αυτό τους οδήγησε να εξετάσουν την ηχητική συμπεριφορά αυτών των χωρών. Το αποτέλεσμα της έρευνας έδειξε ότι οι τοιχογραφίες είχαν γίνει σε μέρη των σπηλαίων τα οποία είχαν έντονο ηχητικό ενδιαφέρον, για παράδειγμα σε σημεία όπου η αντήχηση είναι έντονη ή σε σημεία όπου το αρμονικό φάσμα του ήχου επηρεάζεται σημαντικά. [Lubman, 2009] Μια άλλη υπόθεση υποστηρίζει ότι οι προϊστορικοί άνθρωποι διάλεγαν το είδος του ζώου που θα ζωγραφίσουν κάθε που η αντήχηση του σπηλαίου έμοιαζε με τον ήχο που παράγει το συγκεκριμένο ζώο. [Garfinkel & Waller, 2012]

3.1.3.β Βιολογικές και Νευροαισθητικές βάσεις της μουσικής συμφωνίας

Αν κανείς επιχειρήσει να εξετάσει το ερώτημα για την δημιουργία της τονικής μουσικής από τον άνθρωπο, ήδη από την νεολιθική εποχή, έρχεται αντιμέτωπος με μια σειρά από δεδομένα τα οποία απαιτούν μια ικανοποιητική εξήγηση. Κατ' αρχήν, παρά τις πολιτισμικές διαφορές και τις παραλλαγές στην χρήση των τονικών ήχων, ο άνθρωπος κατά την ανάπτυξη της μουσικής συμπεριφοράς επινόησε διάφορα μουσικά συστήματα τα οποία όμως εδράζονται σ' ένα κοινό θεμέλιο αρμονικότητας. Όπως υποδεικνύουν και οι ανακαλύψεις προϊστορικών οργάνων, τα διαστήματα, δηλαδή η σχέση, η τονική απόσταση μεταξύ δύο φθόγγων, τα οποία ο άνθρωπος θεωρούσε αρμονικά ώστε να βασίσει πάνω τις μουσικές κατασκευές του παρέμειναν λίγο πολύ

απαράλλαχτα για πολλές χιλιετίες και σε πολύ μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα της εκάστοτε γεωγραφικής θέσης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της μουσικής συμπεριφοράς είναι ότι σε όλα τα μουσικά συστήματα εμφανίζεται η αναγκαιότητα, ή αλλιώς η τάση, να υπάρχει ένας τόνος αναφοράς, αυτό που στη δυτική μουσική ονομάσαμε τονική βαθμίδα. Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για την χρήση των μουσικών κλιμάκων. Η βασική μεμβράνη, χάρη στην κατασκευή της, θα μπορούσε να διαιρέσει μια οκτάβα σε δισεκατομμύρια διαφορετικά διαστήματα. Αν λάβουμε υπόψη μας τον αριθμό των διαφορετικών φθόγγων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται, οι πιθανές κλίμακες είναι της τάξης του 10^9 . Ωστόσο, στην παγκόσμια ανθρώπινη μουσική χρησιμοποιούνται μόνο μερικές δεκάδες από αυτές. Μέσω πειραμάτων δημιουργήθηκε ένας πίνακας προτίμησης των πιθανών αυτών κλιμάκων δείχνοντας ότι ανά τον κόσμο ο αριθμός των κλιμάκων δεν είναι μόνο περιορισμένος αλλά οι προτιμήσεις συγκλίνουν σε ένα ακόμη μικρότερο σύνολο κλιμάκων που ακολουθούν την προτιμήσεις συμφωνίας και διαφωνίας. [Gill & Purves, 2009]

Σύμφωνα με μια σύγχρονη αντίληψη η συνολική μουσική συμπεριφορά του ανθρώπου είναι υποπροϊόν της λειτουργίας της γλώσσας. Για την εξελικτική βιολογία, το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα, και η συνακόλουθη ανάπτυξη της αίσθησης της τονικότητας, διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να αποσπά τις περισσότερες δυνατές πληροφορίες από την ανθρώπινη ομιλία.

Οι ήχοι που προέρχονται από το φωνητικό σύστημα των διαφορετικών έμψυχων όντων του πλανήτη, πέραν των ήχων του φυσικού περιβάλλοντος, υπήρξαν για χιλιετίες τα μοναδικά ηχητικά ερεθίσματα των ανθρώπων και των πρόγονων ειδών τους. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, οι φωνές των έμβιων όντων είναι και οι μόνοι ήχοι του περιβάλλοντος οι οποίοι παρουσιάζουν κάποια μορφή περιοδικότητας, δηλαδή το στοιχείο που εκλαμβάνεται από τον εγκέφαλο ως τονικότητα. Ιδιαίτερη περίπτωση ανάμεσα σ' αυτούς τους ήχους αποτελεί το ίδιο το ανθρώπινο φωνητικό σύστημα μιας και μέσω της εξέλιξης του διαμορφώθηκε σε ένα μοναδικά περίπλοκο σύστημα επικοινωνίας μεταξύ των μελών των πρώτων κοινωνιών της ανθρωπότητας.

Ως μέσο επικοινωνίας η ανθρώπινη φωνή μεταφέρει πολύτιμες βιολογικές πληροφορίες για το άτομο από το οποίο εκφέρεται: φύλο, ηλικία, μέγεθος, συναισθηματική κατάσταση ενώ το ηχόχρωμα της φωνής είναι απαραίτητο για την αντίληψη της ταυτότητας ενός ανθρώπου. Οι βιολογικές πληροφορίες αυτές υπήρξαν κρίσιμης σημασίας για την αναπαραγωγή και την επιβίωσή του. Όπως, αναφέραμε προηγουμένως, οι άνθρωποι του παρελθόντος (και όχι μόνο) συνευρίσκονταν ερωτικά κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε απόλυτο σκοτάδι. Έτσι, η ανθρώπινη φωνή ήταν ο βασικός τρόπος αξιολόγησης του συντρόφου, η οποία έδινε μεταξύ άλλων πληροφορίες για τη διάπλαση. [Hughes, Harrison & Gallup, 2002; Miyake & Zuckerman, 1993] Η συσχέτιση φωνής και ελκυστικότητας, όσο κι αν της αποδίδουμε έναν υποκειμενικό χαρακτήρα,

αποτελεί επίσης έναν μηχανισμό που διαμορφώθηκε χάρη σε βιολογικά κίνητρα τα οποία είναι λίγο πολύ συλλογικά [Zuckerman & Driver, 1989]

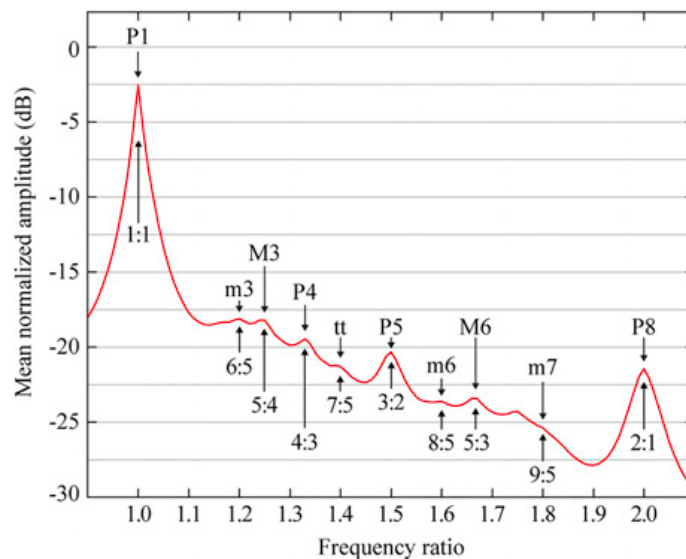
Σε φυλογενετικό επίπεδο, ο ανθρώπινος λόγος θεωρείται ότι αρχικά διαμορφώθηκε ως μια μορφή ενός συνόλου τραγουδιστών φωνημάτων η οποία με την πάροδο του χρόνου κατέληξε στην ομιλία που χρησιμοποιούμε σήμερα. [Gruhn , 2009, 109] Η εκδήλωση της μουσικοπαραγωγικής συμπεριφοράς του ανθρώπου συνδέεται εξελικτικά με την ανθρώπινη επικοινωνία και άρα την κοινωνική συσπείρωση. [Koelsch & Siebel, 2005, 582] Η ομιλία μας μέσω του τονισμού της και αναλόγως προς τη μελωδικότητα της εκφοράς της μεταφέρει διαφορετικά μηνύματα στον δέκτη τα οποία τοποθετούνται πέραν της χρήσης των λέξεων και των νοημάτων τους.

Ο Steven Pinker έθεσε επίσης αυτή τη διάσταση για την καταγωγή της μουσικής εικάζοντας ότι, σε εξελικτικό επίπεδο, η ανάπτυξη της μουσικής αντίληψης οφείλεται στην δυνατότητά της να ενεργοποιεί τα κέντρα ευχαρίστησης του ανθρώπου. Αν η εξέλιξη του ανθρώπου διαμόρφωσε μέσω προσαρμοστικών διαδικασιών το σύστημα ομιλίας, το σύστημα της γλώσσας και το σύστημα των λειτουργιών για την αντίληψη του, η ίδια εξέλιξη είναι εκείνη που επιτρέπει στη μουσική, ως ένα διογκωμένο σε βιολογική πληροφορία ηχητικό ερέθισμα, να προκαλεί ευχαρίστηση στον άνθρωπο. Με άλλα λόγια, αν ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει ήδη μηχανισμούς επιβράβευσης για την επιτυχή αξιοποίηση των βιολογικών πληροφοριών που του δίνει η ομιλία, η μουσική τους εκμεταλλεύεται στο έπακρο. Έτσι, η μουσική δεν έχει κάποια άλλη βιολογική αξία για τον άνθρωπο πέρα από την καθαρή ευχαρίστηση και τα κέντρα τα οποία χρησιμοποιεί για να επιτύχει αυτό το σκοπό είναι εκείνα που εξελίχθηκαν για τη γλώσσα [Pinker 1997, 528] Έρευνες έχουν δείξει ότι η ακρόαση μουσικής ενεργοποιεί τους ίδιους μηχανισμούς επιβράβευσης με το σεξ ή την κοκαΐνη. [Blood & Zatorre, 2001] Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και στο άκουσμα της ανθρώπινης φωνής.

Αρκετά νωρίς, ο Ernst Terhardt πρότεινε μια νευροαισθητική θεωρία για την εξήγηση του φαινομένου της χαμένης θεμελιώδους. Η υπόθεση που διατύπωσε ήταν ότι η εξοικείωση με τις αρμονικές σχέσεις των ήχων γίνεται μέσω της έκθεσης του ανθρώπου στην ομιλία. [Terhardt, 1984]. Έτσι, δημιουργείται στον εγκέφαλο ένας μηχανισμός σύγκρισης του μοτίβου του αρμονικού φάσματος του ηχητικού ερεθίσματος με τα μοτίβα που έχει εκπαιδευτεί ο εγκέφαλος να προσλαμβάνει. Αν στο σήμα εισόδου απουσιάζει η θεμελιώδης συχνότητα αλλά εμφανίζεται ένας ικανοποιητικός αριθμός υπερτόνων τέτοιος ώστε ο εγκέφαλος να το ταυτίσει με το πλήρες αρμονικό φάσμα που έχει μάθει να προσλαμβάνει, τότε θα αντιδράσει σαν το ηχητικό σήμα να περιείχε τη θεμελιώδη συχνότητα. Με αυτό τον τρόπο ο άνθρωπος ακούει τη θεμελιώδη συχνότητα από σήματα στα οποία δεν περιέχεται η θεμελιώδης [Terhardt, 1974].

Αναλόγως, η έρευνα των Schwartz, Howe και Purves, που δημοσιεύθηκε το 2003, επιχείρησε να βασίσει την αντίληψη της συμφωνίας και της διαφωνίας στη νευρική αντίδραση του εγκεφάλου, αυτή τη φορά εξετάζοντας το αρμονικό φάσμα της ανθρώπινης φωνής. Το σκεπτικό της έρευνας συνοψίζεται στο ότι η αίσθηση της συμφωνίας θα πρέπει να εξαρτάται από τη φύση των τονικών ήχων του περιβάλλοντος του ανθρώπου που έχουν την μεγαλύτερη βιολογική σημασία γι' αυτόν, δηλαδή την ανθρώπινη φωνή.

Με αφορμή τα παραπάνω Κατά τη διεξαγωγή της έρευνας μελετήθηκαν χιλιάδες δείγματα διαφορετικών ανθρώπινων φωνών, από άτομα διαφορετικής εθνικότητας, ηλικίας και φύλου, από τη βάση δεδομένων του TIMIT ως προς το αρμονικό τους φάσμα. Έπειτα από κανονικοποίηση των αρμονικών φασμάτων οι ερευνητές παρατήρησαν ότι το “μέσο” αρμονικό φάσμα που προέκυπε από όλα τα διαφορετικά δείγματα φωνών παρουσίαζε formants σε συχνότητες που ο άνθρωπος χαρακτηρίζει μουσικά σύμφωνες. Με άλλα λόγια, το αρμονικό φάσμα της ανθρώπινης φωνής παρουσιάζει ενεργειακή αύξηση ακριβώς στα σύμφωνα μουσικά διαστήματα και χαμηλότερη σε αυτά που γίνονται αντιληπτά ως διάφωνα.



Μάλιστα, η ιεράρχηση των τιμών της αύξησης για κάθε διάστημα συμπίπτει ακριβώς με την ιεράρχηση των διαστημάτων όπως είχε διαμορφωθεί από την εποχή των μελετών του Helmholtz.

Η βασικότερη προέκταση αυτής της ανακάλυψης είναι ότι η εκτίμηση της μουσικής συμφωνίας σχετίζεται με την ομοιότητα του ήχου ως προς την ανθρώπινη φωνή. [Schwarz, 2003] Στην ίδια κατεύθυνση δείχνουν και τα αποτελέσματα μιας έρευνας που προσπάθησε να εντοπίσει, μέσω fMRI, τα κέντρα εκείνα του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται κατά την ακρόαση σύμφωνης ή διάφωνης μουσικής. Σύμφωνα με αυτά ενώ η διάφωνα μουσική ενεργοποιεί κέντρα που σχετίζονται με αρνητικά ερεθίσματα (π.χ. αμυγδαλή, ιππόκαμπος), η σύμφωνη μουσική ενεργοποιεί κέντρα που σχετίζονται με την παραγωγή της ανθρώπινης ομιλίας. [Koelsch et al., 2006]

Εντούτοις, οι παραπάνω μελέτες δεν μοιάζει επουδενί να εξαντλούν το φαινόμενο της μουσικότητας και της εκτίμησης της μουσικής συμφωνίας. Το μόνο που υποδεικνύουν είναι ο σημαντικός ρόλος της ανθρώπινης ομιλίας στη διαμόρφωση της μουσικής αισθητικής χωρίς ωστόσο να είναι ο μοναδικός. Όπως μας δείχνουν άλλες πτυχές της νευροαισθητικής έρευνας υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες που διαμορφώνουν την εκτίμηση της μουσικής συμφωνίας, όπως εκείνοι της πολιτισμικής ταυτότητας, της εξοικείωσης, της εμπειρίας, της έκπληξης, της ανάγκης για πρωτοτυπία. Όπως, δείχνει και η Ιστορία της Μουσικής, η αντίληψη περί αρμονίας μεταλλάσσεται και ακολουθεί την εξέλιξη τόσο των ανθρώπινων κοινωνιών όσο και του ίδιου του ατόμου μέσω της μουσικής καλλιέργειας και εκπαίδευσης.

3.2 Η περίπτωση των απωθητικών ήχων

Πέρα από τη μελέτη των τονικών ήχων, ενδιαφέρον παρουσιάζει η ιδιαίτερη περίπτωση των ήχων που είναι ενοχλητικοί για τον άνθρωπο, όπως ο θόρυβος ο οποίος χαρακτηρίζεται ως “ανεπιθύμητος ήχος”, ή ήχων που του προκαλούν την αίσθηση της αποστροφής σε βαθμό που μπορεί να την αισθανθεί στο σώμα του. Είναι γεγονός ότι ο ήχος της κιμωλίας που παράγει έναν οξύ ήχο καθώς τρίβεται στον πίνακα ή ο ήχος ενός μετάλλου που κινείται με συγκεκριμένο τρόπο σε μια τελείως λεία μπορεί να προκαλέσει στον άνθρωπο μια αίσθηση ανατριχίλας, την ένταση μιας κατάστασης απειλής. Τέτοιοι ήχοι μπορεί να είναι είτε συλλογικοί, δηλαδή ήχοι όπου ο άνθρωπος εν γένει βρίσκει ενοχλητικούς, είτε ατομικοί, ήχοι όπου έχει κανείς συνδέσει με μια δική του προσωπική εμπειρία και ενεργοποιεί έκτοτε μια δυσάρεστη αίσθηση [Brattico & Pearce 2013, 52].

Τέτοιοι ήχοι έχουν χρησιμοποιούνται σταθερά για να μεταφέρουν το μήνυμα της απειλής. Οι σειρήνες που ειδοποιούν για αεροπορική επιδρομή ή ο συναγερμός έκτακτης ανάγκης σε ένα πλοίο βασίζονται στην ίδια αρχή. Αντίστροφα, ο ανεπιθύμητος ήχος του θορύβου έχει μελετηθεί εκτενώς ώστε να αποφεύγεται στα διαφορετικά περιβάλλοντα όπου μπορεί να έχει επιβλαβείς συνέπειες.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει έρευνες για τη μελέτη των ανεπιθύμητων και αποκρουστικών ήχων. Η ακριβής λειτουργία τους στο ακουστικό σύστημα δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή και υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις σχετικά με τη ψυχοφυσιολογική επίδραση που έχουν πάνω στον άνθρωπο. Ωστόσο έχει γίνει πλήθος πειραμάτων με σκοπό τη μελέτη και την αξιολόγηση της ανοχής του ανθρώπου σε τέτοιους ήχους. Αυτό το πεδίο έρευνας έρχεται να συμπληρώσει εκείνο το οποίο μελετά την απόλαυση της μουσικής και των ήχων που ο άνθρωπος

τείνει να ταυτίζει με ευχάριστες καταστάσεις όπως η ηρεμία, η συγκίνηση και η συναρπαγή και το οποίο παρουσίασα στο προηγούμενο τμήμα της παρούσας εργασίας.

3.2.1 Η περίπτωση του θορύβου

Ο θόρυβος ορίζεται ως ανεπιθύμητος ήχος από κάποιον παρατηρητή. Οι παράμετροι που μπορεί να καθορίζουν αν ένας ήχος είναι ανεπιθύμητος είναι πολλοί και μπορεί να σχετίζονται με την ακουστότητα του ή με το αρμονικό του φάσμα, δηλαδή παραμέτρους που καθορίζουν το ηχόχρωμα του. Από την άλλη πλευρά, ανάλογα τις περιστάσεις ένας ανεπιθύμητος ήχος μπορεί να γίνει περισσότερο ανεκτός λόγω σύμβασης, για παράδειγμα ο εκκωφαντικός ήχος σε έναν συναυλιακό χώρο, ή ο θόρυβος των μηχανών σε ένα εργοστάσιο. Έτσι, μια ακόμη παράμετρος που καθορίζει τον βαθμό ανοχής σε έναν δυσάρεστο ήχο είναι και το κατά πόσον ο ήχος είναι αναμενόμενος ή όχι. [Maling, 2007]

Αυτό που έγινε φανερό νωρίς στη διερεύνηση της δυσάρεστης αίσθησης που προκαλούν τα διαφορετικά είδη θορύβου είναι ότι οι άνθρωποι συμφωνούν σε πολύ μεγάλο ως προς την ιεράρχηση αυτής της αίσθησης, τουλάχιστον όσον αφορά τον δυτικό άνθρωπο. [Cardozo & van Lieshout 1981]. Το πεδίο που μελετά τη διαχείριση του θορύβου ονομάζεται μηχανική ελέγχου θορύβου και απαιτεί τη ανάλυση των ιδιοτήτων της πηγής του θορύβου, την επίδραση του περιβάλλοντα χώρου στη διαμόρφωση του θορύβου αλλά και την εφαρμογή ψυχοακουστικών μετρήσεων στον παρατηρητή. Αυτό το μοντέλο που περιλαμβάνει το τρίπτυχο πηγή-διαδρομή-δέκτης χρησιμοποιήθηκε από τους Bolt και Ingard, σε μια μελέτη του 1956 η οποία υπήρξε η πρώτη συστηματική μελέτη του φαινομένου του ανεπιθύμητου θορύβου και η οποία παρείχε μετρικές κατάλληλες για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θορύβου [Bolt & Ingard, 1957]. Οι μετρικές αυτές εξαρτιόνταν σχεδόν αποκλειστικά από τη στάθμη θορύβου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να παραβλεφθούν χαρακτηριστικά του ήχου, πέραν της ακουστότητας, που συμβάλλουν ενδεχομένως στο βαθμό ενόχλησης. Όπως έχει παρατηρηθεί, ένας ήχος που δεν ανήκει στην κατηγορία του θορύβου μπορεί να είναι κάλλιστα ανεκτός στην ίδια στάθμη έντασης με έναν ανεπιθύμητο ήχο. Επομένως, η δυσαρέσκεια εξαρτάται από παραμέτρους που έχουν να κάνουν με την “ποιότητα του ήχου” και οι σύγχρονες μελέτες έχουν μεταθέσει το ενδιαφέρον τους προς αυτή την κατεύθυνση [Lyon, 2000].

Κατά τη λειτουργία μιας μηχανής, ο θόρυβος πέρα απ’ το να προκαλεί αίσθηση δυσφορίας, μπορεί να προκαλέσει την εντύπωση κακής λειτουργίας και άρα να μειώσει την αίσθηση εμπιστοσύνης του καταναλωτή. Εφαρμόζοντας ένα είδος αντίστροφης μηχανικής οι σχεδιαστές

προϊόντων αναζητούν τρόπους ώστε να αντιστρέψουν τους παράγοντες εκείνους που συνεισφέρουν στην κακή ποιότητα ενός ήχου και να κάνουν τον θόρυβο που παράγει, π.χ. μια μηχανή αυτοκινήτου, να είναι όχι απλώς υποφερτός, αλλά ακόμη και ευχάριστος. [Lyon, 2004]

Πέραν της βιομηχανίας, εκτενείς έρευνες έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση του θορύβου σε άτομα που ασθενούν ή βρίσκονται σε κατάσταση ανάρρωσης σε κάποιο νοσοκομείο. Τα νοσοκομείων είναι χώροι υψηλού θορύβου λόγω της έντονης δραστηριότητας και του πλήθους του κόσμου που βρίσκονται εκεί αλλά και των μηχανημάτων που λειτουργούν. Σε μια έρευνα στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Παίδων της Ζυρίχης τα επίπεδα που μετρήθηκαν ήταν 25 db πάνω από το επιτρεπτό όριο που έχει θεσπίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Μια βρετανική έρευνα, το 1994, έδειξε ότι τα υψηλά αυτά επίπεδα θορύβου έχουν σημαντική επίδραση στην ευαισθησία των ασθενών στον πόνο αλλά και στον χρόνο επούλωσης των μετεγχειρητικών τραυμάτων [Biley 1994]. Η ίδια έρευνα υπέδειξε και τις επιπτώσεις του θορύβου στην αποδοτικότητα του προσωπικού του νοσοκομείου η οποία υπέδειξε πονοκεφάλους και έντονη νευρική κατάσταση.

3.2.2 Φυσιολογικές θεωρήσεις του φαινομένου των ανατριχιαστικών ήχων

Η πρώτη προσέγγιση για τη μελέτη των ανατριχιαστικών ήχων έγινε από τον Ely το 1975 σε μια έρευνα που μελετούσε την επίδραση του ήχου της κιμωλίας πάνω στον πίνακα σε ένα δείγμα 16 ατόμων. Κατά τη διάρκεια του πειράματος ο ήχος αυτός αναπαραγόταν μεταξύ απλών τονικών ήχων. Το πείραμα είχε δύο διαφορετικές εκδοχές όπου η μια ομάδα ακροατών δεν ήταν ενήμερη για το τι επρόκειτο να ακούσουν ενώ η δεύτερη είχε προειδοποιηθεί. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα της έρευνας είναι ότι το σύνολο των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα δεν εντόπισε την ενόχληση στο ίδιο το αισθητηριακό όργανο αλλά σε διάφορα σημεία του σώματος. Η υπόθεση του Ely ήταν ότι η έκθεση σε πολύ υψηλές συχνότητες ήταν εκείνη που προκαλεί αυτή την αίσθηση. Επίσης, απέδωσε την προκαλούμενη αίσθηση σε μια παβλοφικού τύπου αντίδραση σε ένα ερέθισμα όπου αρχικά είχε συνδεθεί λόγω ομοιότητας με την απτική αίσθηση των νυχιών πάνω στον πίνακα. Έτσι, η ηχητική ομοιότητα με την κιμωλία ενεργοποιεί στον άνθρωπο την ίδια αντίδραση την οποία αισθάνεται σωματικά λόγω απτικών ανακλαστικών.

Ένα ακόμη αποτέλεσμα ήταν ότι η ομάδα που γνώριζε ότι πρόκειται να εκτεθεί σε ένα ανατριχιαστικό ήχο εκδήλωσε μεγαλύτερη ευαισθησία καθώς το πείραμα επαναλαμβανόταν, αντί να συμβαίνει το αντίθετο. Στην περίπτωση της ανυποψίαστης ομάδας η αντίδραση παρέμεινε η ίδια. Αυτό υποδείκνυε την ύπαρξη μιας διαδικασίας φαντασιακής απεικόνισης της πηγής του ανατριχιαστικού ήχου στον εγκέφαλο [Ely, 1975].

Μια έρευνα που ακολούθησε, το 1986, από τους Halpern, Blake και Hillenbrand απέδειξε, σε αντίθεση με την γενική άποψη, ότι οι συχνότητες που είναι υπεύθυνες για την αίσθηση αποστροφής που παράγουν οι ανατριχιστιατικοί ήχοι βρίσκονται μεταξύ των 2000 και 4000 Hz, δηλαδή σε μια μεσαία ζώνη συχνοτήτων. (Halpern, 1986] Στο πρώτο πείραμα παρουσιάστηκαν διαφορετικοί ήχοι τους οποίους οι συμμετέχοντες έπρεπε να βαθμολογήσουν σε μια κλίμακα “ευχάριστος/δυσάρεστος”. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ένα εξαιρετικά μεγάλο βαθμό συμφωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων. Στη δεύτερη φάση του πειράματος μελετήθηκε το κατά πόσον ο δυσάρεστος χαρακτήρας του ήχου θα επηρεαζόταν καθώς μεταβάλλονται διαφορετικές παράμετροι του ήχου, είτε χρονοεξαρτώμενες είτε εξαρτώμενες από το αρμονικό του φάσμα. Διαλέγοντας τον ήχο που είχε χαρακτηριστεί ως ο πιο δυσάρεστος (ο ήχος μιας τσουγκράνας που γδέρνει το πλακόστρωτο), μέσω ψηφιακών μεθόδων επεξεργασίας του σήματος οι ερευνητές αφαίρεσαν την ενέργεια από διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων και ζήτησαν από τους συμμετέχοντες να επανεκτιμήσουν την ποιότητα του. Το αποτέλεσμα του πειράματος έδειξε ότι η εξαφάνιση των υψηλών συχνοτήτων μέσω ενός βαθυπερατού φίλτρου δεν άλλαξε καθόλου τον αποκρουστικό του χαρακτήρα. Αντιθέτως, όταν εφάρμοσαν ένα ζωνοπερατό φίλτρο μεταξύ των 2000 και 4000 Hz ο δυσάρεστος χαρακτήρας του ήχου εξαφανίστηκε σχεδόν ολοκληρωτικά.

Ωστόσο, η έρευνα αυτή δεν εξηγούσε τον λόγο για τον οποίο ήχοι ανάλογης φασματικής ποιότητας είναι τόσο δυσάρεστοι. Οι ερευνητές αρκέστηκαν στην υπόθεση ότι αυτή η αυτόματη, ενστικτώδης αντίδραση του ανθρώπου θα πρέπει να σχετίζεται με το ότι ο ήχος θυμίζει σε μεγάλο βαθμό κάποιον εγγενώς απειλητικό ήχο του φυσικού περιβάλλοντος. Έτσι, ο άνθρωπος μέσω της εξέλιξης θα πρέπει να είναι προγραμματισμένος ώστε να αντιδρά με αποστροφή στον ήχο λόγω κάποιου ενστίκτου επιβίωσης. Για την υποστήριξη αυτής της υπόθεσης συνέκριναν το φασματογράφημα ενός τέτοιου σύνθετου ήχου με το φασματογράφημα ήχων που παράγουν τα πρωτεύοντα και παρατήρησαν ότι ο ήχος μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με την προειδοποιητική κραυγή των πιθήκων του είδους *μακάκα* βάσει προηγούμενων μελετών [Green, 1975].

Μεταγενέστερη έρευνα έστρεψε το ενδιαφέρον για τη μελέτη των δυσάρεστων ήχων στα χαρακτηριστικά της σκληρότητας και της οξύτητας του ήχου [Fastl, 1997]. Η οξύτητα, όπως προαναφέραμε, σχετίζεται με την κατανομή της ενέργειας στις υψηλές συχνότητες. Ωστόσο, αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα ευρήματα των Halpern κ.ά. που δείχνουν ότι οι μεσαίες συχνότητες προσδίδουν στην ποιότητα του ήχου δυσάρεστη επίδραση. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και αρκετές μεταγενέστερες νευροαισθητικές έρευνες μεταξύ των οποίων και εκείνη των Kumar κ.ά. που δημοσιεύτηκε το 2008 και η οποία είχε στη διάθεση της μέσα τα οποία δεν υπήρχαν 20 χρόνια νωρίτερα. Η έρευνα αυτή η οποία προσπάθησε να αντιστοιχήσει τον δυσάρεστο χαρακτήρα

ορισμένων ήχων στην ηχητική αναπαράστασή τους στον ανθρώπινο εγκέφαλο κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα για το φάσμα συχνοτήτων 2000 με 4000 Hz [Kumar et al., 2008].

Μια εναλλακτική εξήγηση που έχει δοθεί σχετικά με την παραπάνω διαπίστωση είναι ότι η αποστροφή ενδεχομένως οφείλεται στην κατασκευή του ακουστικού πόρου. Ο ακουστικός πόρος του αυτιού παρουσιάζει μια τιμή συντονισμού σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων και η ενίσχυση της έντασης κατά το συντονισμό μπορεί να φτάσει τα 30 db. Επομένως, η έκθεση σε έναν ήχο με υψηλή ενέργεια σε αυτές τις συχνότητες είναι δυνατό να προκαλέσει τραυματισμό του ακουστικού συστήματος. [Henoeh & Chesky, 1999] Σύμφωνα με αυτή την οπτική, η ενστικτώδης αντίδραση της αποστροφής προκύπτει για λόγους προστασίας στο ενδεχόμενο ενός τέτοιου τραυματισμού.

Από την άλλη πλευρά, αυτή η υπόθεση αφήνει εκτός εξήγησης τη δυνατότητα πολλών διαφορετικών ήχων που ενώ είναι ανατριχιαστικοί δεν παρουσιάζουν υψηλή οξύτητα.

Επίλογος – Συμπεράσματα

Ο ήχος είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο φαινόμενο της εμπειρίας το οποίο υπήρξε αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ζωής από την αρχή της ύπαρξης στον πλανήτη. Λόγω της δυνατότητας του ανθρώπου να επικοινωνεί μέσω του ήχου αναπτύχθηκε ένα πολύπλοκο σύστημα ηχητικής επεξεργασίας, τόσο σε φυσιολογικό επίπεδο όσο και σε νευρικό. Ο άνθρωπος έρχεται αντιμέτωπος με ηχητικά ερεθίσματα διαρκώς, είτε αυτά αφορούν τους ήχους του περιβάλλοντος είτε δομημένες μορφές ήχου όπως η μουσική. Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν όλα αυτά τα ηχητικά ερεθίσματα εμπίπτουν σε διαφορετικά πεδία της επιστήμης και της φιλοσοφίας. Έτσι, ιστορικά, η μελέτη του ήχου γινόταν για αιώνες αποσπασματικά, αναλόγως του πλαισίου στο οποίο αναφερόταν ο κάθε ερευνητής.

Αν και αρχικά η φυσική διάσταση του ήχου ήταν ταυτοχρόνως και φιλοσοφική θέση ως προς αυτόν, με τη γέννηση της επιστήμης, τα φιλοσοφικά ερωτήματα για τον ήχο μετατοπίστηκαν στο αισθητικό πεδίο, στη βάση του ορθού λόγου, ενώ το πεδίο της Ακουστικής θα αναλάμβανε τα μετρήσιμα χαρακτηριστικά του ήχου. Με τη γέννηση των ψυχοφυσικών θεωριών μελετήθηκε ο ήχος ως ηχητικό ερέθισμα για να αποκαλυφθεί ο υποκειμενικός χαρακτήρας του ήχου και να διαμορφωθεί το πεδίο της Ψυχοακουστικής. Ταυτόχρονα, με την αναζήτηση των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του ανθρώπου που ευθύνονται για τα διάφορα ψυχοακουστικά φαινόμενα, διαμορφώθηκε το πεδίο της ακοολογίας, το οποίο μελετά το περιφερειακό ακουστικό σύστημα.

Πήρε αρκετούς αιώνες ώστε όλες αυτές οι διαφορετικές θεωρήσεις του ίδιου κατ' ουσιάν φαινομένου να φτάσουν σ' ένα σημείο σύγκλισης, μέσω της Νευροεπιστήμης, και ένα κοινό πεδίο έρευνας και ανταλλαγής μεθόδων μέσα από τη σύγχρονη διεπιστημονική θεώρηση του ήχου.

Η ριζική μετάβαση στη μελέτη του ήχου έγινε με την ανάδυση της Ψυχοακουστικής. Σε αντίθεση με τη μελέτη του ήχου όπως τον εξετάζει η Φυσική, η βάση της Ψυχοακουστικής είναι η μελέτη του ήχου ως ακουστικό ερέθισμα που προσλαμβάνεται από τον άνθρωπο και αποκωδικοποιείται στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Έτσι, ένα μέρος της Ψυχοακουστικής μελετά τις νευροφυσιολογικές ή και ψυχοφυσιολογικές αντιδράσεις του ανθρώπου σε συγκεκριμένα ηχητικά ερεθίσματα. Το γεγονός ότι αυτές οι νευροφυσιολογικές αντιδράσεις μπορούν να εκδηλώνονται τόσο στη συναισθηματική, ψυχολογική αλλά σωματική κατάσταση του ανθρώπου, π.χ. ανατριχίλα, εφίδρωση, στρες, αίσθηση ευφορίας, αντίδραση του μυϊκού συστήματος, υποδεικνύει την εμπλοκή πολλών διαφορετικών νευρικών κέντρων του εγκεφάλου στην επίδραση του ήχου. Η ανάπτυξη της Νευροεπιστήμης έδωσε τα μέσα ώστε να χαρτογραφηθούν αυτές οι λειτουργίες και να συνδεθούν τα διάφορα χαρακτηριστικά του ήχου με τη νευρική τους επίδραση.

Τέτοιες νευροφυσιολογικές αντιδράσεις μπορούν να προκληθούν είτε από ευχάριστα ερεθίσματα όπως είναι ένα μουσικό έργο, είτε από δυσάρεστα ερεθίσματα όπως τα απειλητικά μηνύματα του περιβάλλοντος. Στην πρώτη περίπτωση, αυτή της μουσικής, η διερεύνηση για την έντονη επίδραση της ξεκίνησε από την Αρχαιότητα. Αντίθετα, η περίπτωση των απωθητικών ήχων θα έπρεπε να περιμένει την επέλαση της βιομηχανίας ώστε να μελετηθεί.

Στο πεδίο της Δυτικής μουσικής το ερώτημα αφορά στο που πηγάζει η απόλαυση της μουσικής και ανά τους αιώνες πήρε διαφορετικές απαντήσεις. Παραδοσιακά, για τη Μουσική Ακουστική, όπως διαμορφώθηκε από τη δυτική σκέψη, η αισθητική αξιολόγηση συνδεόταν αναγκαστικά με τον βαθμό αρμονικότητας του ήχου, του χαρακτηριστικού που μπορεί να τον κάνει ευχάριστο ή δυσάρεστο, δηλαδή σύμφωνο ή διάφωνο. Από εκείνο το σημείο και πέρα, τα στάδια εξέλιξης της γνώσης πάνω στο φαινόμενο της συμφωνίας και της διαφωνίας του ήχου ακολούθησαν την εμφάνιση διαφορετικών πεδίων επιστήμης που το καθένα προσέφερε μια διαφορετική προοπτική και διαφορετικό σύνολο μεθόδων.

Οι βασικότερες θεωρήσεις του φαινομένου της αρμονικότητας χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες: Αρχικά, η αισθητική ποιότητα του ήχου εξαρτιόταν αρχικά από τη μαθηματική απλότητα, στη βάση της Πυθαγόρειας Φιλοσοφίας. Κατόπιν, με την εξέλιξη της Μουσικής Ακουστικής, η αρμονικότητα του αναζητήθηκε στη σχέση των φυσικών χαρακτηριστικών του αρμονικού φάσματος των ήχων και την αλληλεπικάλυψη των αρμονικών δύο ήχων, με τη θεωρία των διακροτημάτων του Helmholtz. Με την ανάπτυξη της φυσιολογίας, η αρμονικότητα θεωρήθηκε άμεση συνέπεια του τρόπου με τον οποίο ήταν κατασκευασμένο το ακουστικό σύστημα, όπως διατυπώθηκε από τη θεωρία των Κρίσιμων Ζωνών. Με την ανάδυση της εξελικτικής βιολογίας, η αισθητική συμπεριφορά διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετεί την φυσική επιλογή. Από αυτή τη σκοπιά, το κριτήριο για την αρμονικότητα των ήχων έχει διαμορφωθεί από το σημαντικότερο, από βιολογικής άποψης, ηχητικό ερέθισμα, την ανθρώπινη ομιλία.

Με την εξέλιξη της Νευροεπιστήμης και της Νευροαισθητικής, έγινε φανερό ότι η αισθητική λειτουργία δεν εξαντλείται στα επιμέρους στοιχεία του ηχητικού ερεθίσματος, όπως είναι η αρμονικότητα. Αντιθέτως, η επίδραση του ήχου αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία νευρωνικών λειτουργιών που καλύπτει ένα μεγάλο μέρος του εγκεφάλου ενώ έγινε φανερό ότι ο δομημένος ήχος έχει τη δυνατότητα να επηρεάζει συναισθηματικά τον άνθρωπο λόγω του ότι ενεργοποιεί το σύστημα ανταμοιβής του εγκεφάλου.

Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση των απωθητικών ήχων όπου οι επιστήμονες αρχικά αναζήτησαν την πηγή της απόθησης στα φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου, δηλαδή στην οξύτητα του ήχου και την ενεργειακή του διακύμανση στις υψηλές συχνότητες. Ωστόσο, όπως έγινε φανερό μέσα από την περαιτέρω μελέτη ήχων που κατά κοινή αποδοχή προκαλούν το αίσθημα της

αποστροφής (όπως αυτός της κιμωλίας ή των νυχιών πάνω στον πίνακα) τα συμπεράσματα έρχονται σε αντίφαση με την παραπάνω υπόθεση. Το φάσμα των συχνοτήτων που είναι υπεύθυνο για τον απωθητικό χαρακτήρα τοποθετείται στις μεσαίες συχνότητες, δηλαδή εκεί που βρίσκεται η ανθρώπινη φωνή.

Αυτή η διαπίστωση οδήγησε σε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στην εξήγηση των αποτελεσμάτων οι οποίες βασίζονται σε δύο αντιμαχόμενες υποθέσεις: από τη μία θεωρείται ότι η αντίδραση του ανθρώπου απέναντι σ' αυτούς τους ήχους είναι αποτέλεσμα βιολογικών αρχετύπων –προτείνοντας ότι ο ήχος παραπέμπει στην κραυγή ενός πρωτεύοντος που βρίσκεται σε κίνδυνο– και από την άλλη ότι προκύπτει ως συνέπεια της ανατομίας του ακουστικού συστήματος για το οποίο παρατηρείται το φαινόμενο του συντονισμού στις συγκεκριμένες συχνότητες και άρα η ένταση τους πολλαπλασιάζεται δραματικά. Έτσι, η αντίδραση της αποστροφής λειτουργεί προστατευτικά απέναντι στο ενδεχόμενο τραυματισμού του ακουστικού συστήματος.

Αν και ελέγξιμη, η δεύτερη υπόθεση, εκείνη της ανατομικής ιδιομορφίας του ακουστικού συστήματος, δεν προσφέρει εξηγήσεις για ένα πολύ μεγάλο σύνολο ήχων οι οποίοι αν και είναι αποκρουστικοί για τον άνθρωπο δεν έχουν τις παραπάνω φυσικές ιδιότητες. Από την άλλη, αν δεχτούμε την βιολογική υπόθεση για την απόλαυση της μουσικής ότι προέρχεται από την άρρηκτη σχέση της με την ανθρώπινη ομιλία και τη δυνατότητα να ενεργοποιεί το σύστημα ανταμοιβής του εγκεφάλου, τότε ένα σήμα το οποίο προσιδιάζει σε μια απειλητική μορφή της ανθρώπινης φωνής μπορεί να προκαλεί το αίσθημα του κινδύνου και άρα της ανατριχίλας.

Από την άλλη πλευρά, σε αυτό συνηγορεί ότι η αισθητική αξιολόγηση ενός ηχητικού σήματος συμβαίνει σε ανώτερο επίπεδο από εκείνο στο οποίο ο εγκέφαλος αξιολογεί ως αποκρουστικό έναν ήχο για λόγους υψηλής σκληρότητας ή διακύμανσης της ενέργειας στις υψηλές συχνότητες. Όπως φαίνεται σε παραδείγματα σύγχρονων μουσικών ειδών ή σε παραδοσιακές μουσικές άλλων πολιτισμών, η αντίδραση σε έναν σκληρό ή ένα ακραίο ήχο αλλάζει όταν πρόκειται για μουσική. Για παράδειγμα, το Γκαμελάν, η παραδοσιακή μουσική φόρμα της Ινδονησίας που ακούστηκε για πρώτη φορά στην έκθεση του Παρισιού το 1889, της οποίας η αποκάλυψη θα μάγευε τον Debussy και τους σύγχρονους Ευρωπαίους συνθέτες, παρουσιάζει ιδιομορφίες τις οποίες το δυτικό ακροατήριο με όρους σκληρότητας θα αισθανόταν ενοχλητικές. Αντιστοίχως, από την εμφάνιση του παραμορφωμένου, θορυβώδους ήχου στη rock μουσική της δεκαετίας του '60 μέχρι την δημιουργία όλων εκείνων των ειδών της ηλεκτρονικής μουσικής που συντίθενται αποκλειστικά από θορύβους και ακραίες κυματομορφές μεσολάβησε η εξοικείωση του ανθρώπινης αισθητικής με αυτούς.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ταυτότητα των ήχων διαμορφώνεται από ένα εκτεταμένο σύνολο πληροφοριών που επεξεργάζεται ο εγκέφαλος. Οι πληροφορίες αυτές είναι

φυσικές, βιολογικές, και κοινωνικές. Η απάντηση για τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι πληροφορίες αλληλοεξαρτώνται και αλληλεπιδρούν βρίσκεται στη περαιτέρω χαρτογράφηση της γνωστικής λειτουργίας του εγκεφάλου η οποία θα ακολουθήσει στα χρόνια που έρχονται με την εξέλιξη των μεθόδων νευροαπεικόνισης.

Βιβλιογραφία – Παραπομπές

- Γεωγάκη, Α., (2016). *Ανάλυση και Σύνθεση Ηχων*, ΕΚΠΑ Τμήμα Μουσικών Σπουδών.
- Τσέτσος, Μ. (2012). *Αισθητική της Μουσικής*, Αθήνα, ΕΚΠΑ Τμήμα Μουσικών Σπουδών.
- Attneave, F. and Olson, R.K. (1971). ‘Pitch as a medium: a new approach to psychophysical scaling’. *American Journal of Psychology*, 84, 147–166.
- Baier, G., Hermann, T. (2009) ‘Sonification: Listen to Brain Activity’ In Haas, R., Brandes, V. (eds.) *Music that works - Contributions of biology, neurophysiology, psychology, sociology, medicine and musicology*, SpringerWienNewYork.
- Barker, A. (1989). *Greek Musical Writings, 2: Harmonic and Acoustic Theory*. Cambridge: CUP.
- Berger, K. W. (1964) ‘Some factors in the recognition of timbre’. *J. Acoust. SIC. Am.* 36, 1888-1891.
- Berlyne, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. New York: Appleton-Century- Crofts.
- Berlyne, D. E. (1974). The new experimental aesthetics. In D. E. Berlyne (Ed.), *Studies in the new experimental aesthetics: Steps toward an objective psychology of aesthetic appreciation* (pp. 1–26). Washington, DC: Hemisphere Publishing Corporation.
- Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, 185, 537–539.
- Bijsterveld, K. (2003). The diabolical symphony of the mechanical age. In M. Bull & L. Back (Eds.), *The auditory culture reader* (pp. 165–189). New York: Berg.
- Bilecen, D., K. Scheffler, N. Schmid, K. Tschopp, and J. Seelig, (1998) Tonotopic organization of the human auditory cortex as detected by BOLD-FMRI. *Hearing Res.* 126, 19–2
- Biley, F.C. (1994). ‘Effects of noise in hospitals’. *British Journal of Nursing* 3(3), 110-113
- Blessner, B., Salter, L.R. (2007). *Spaces speak, are you listening?* Cambridge, MA: MIT.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). ‘Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion.’ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(20), 11818–11823.

- Bolt, R.H., Ingard, K.U. (1957) 'System considerations in noise-control problems' In Harris, C.M. (ed.) *Handbook of Noise Control*, New York: McGraw-Hill.
- Bowler, P.J., Morus, I.R. (2005). *Making modern science: A historical survey*. Chicago: University of Chicago Press..
- Bowling, D.L. (2012) The biological basis of emotion in musical tonality. PhD dissertation (Duke University, Durham, NC).
- Brandes, V. 'Music as a medicine: incorporating music into standard hospital car' In Haas, R., Brandes, V. (eds.) *Music that works - Contributions of biology, neurophysiology, psychology, sociology, medicine and musicology*, SpringerWienNewYork.
- Brattico, E., Pearce, M. (2013). The neuroaesthetics of music. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 7(1), 48–61.
- Burke, E. (1757). *A philosophical enquiry into the origin of our ideas of the sublime and the beautiful*. London: Dodsley.
- Békésy, G. (1960). *Experiments in Hearing*. McGraw-Hill, New York.
- Cardozo, B. L., & van Lieshout, R. A. J. M. (1981). Estimates of annoyance of sounds of different character. *Applied Acoustics*, 14, 323–329.
- Carlson, N. R. (2001). *Physiology of Behavior*. Needham Heights, Massachusetts: Pearson: Allyn & Bacon.
- Cousineau M, McDermott JH, Peretz I (2012) The basis of musical consonance as revealed by congenital amusia. *Proc Natl Acad Sci USA* 109(48):19858–19863.
- Cox, T.J., (2008) *Scraping sounds and disgusting noises*, University of Salford, Elsevier, 2008
- Ely, D.J. (1975) 'Aversiveness without pain: Potentiation of imaginal and auditory effects of blackboard screeches' *Bulletin of the Psychonomic Society*, Vol. 6 (3),295-296.
- Fastl, H. (1997). The psychoacoustics of sound-quality evaluation. *Acustica*, 83, 754–764.
- Garfinkel, Alan P., and Waller, Steven J., 2012. "Sounds and Symbolism from the Netherworld: Acoustic Archaeology at the Animal Master's Portal", *Pacific Coast Archaeological Society Quarterly* 46 (4):37-60.
- Gill KZ, Purves D (2009) A biological rationale for musical scales. *PLoS One* 4(12):e8144.

- Godwin, J (1992). *The Harmony of the Spheres a Sourcebook of the Pythagorean Tradition in Music*. Inner Traditions.
- Grahn, J. A. (2009). The role of the basal ganglia in beat perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 35–45.
- Green, S. (1975). Communication by a graded vocal system in Japanese monkeys. In L. A. Rosenblum (Ed.), *Primate behavior* (Vol. 4). New York: Academic Press.
- Greenwood, D.D. (1961) Critical bandwidth and the frequency coordinates of the basilar membrane. *J Acoust Soc Am* 33(10): 1344–1356.
- Greenwood, D.D. (1961) Auditory masking and the critical band. *J Acoust Soc Am* 33(4):484–502.
- Grewe, O., Katzur, B., Kopiez, R., Eckart, A. ‘Chills in different sensory domains: Frisson elicited by acoustical, visual, tactile and gustatory stimuli’. In: *Psychology of Music* 39/2 (2010), p. 220-239
- Griffiths, P. (2004). *New Penguin Dictionary of Music*. London: Penguin Books.
- Gruhn, W. (2009) ‘The audio-vocal system in song and speech development’ In Haas, R., Brandes, V. (eds.) *Music that works - Contributions of biology, neurophysiology, psychology, sociology, medicine and musicology*, SpringerWienNewYork.
- Guski, R. (1997). ‘Psychological methods for evaluating sound-quality and assessing acoustic information’, *Acustica/acta acustica* 83 (1997)
- Haas, R. (2009) ‘Introduction: Music that Works’ In Haas, R., Brandes, V. (eds.) *Music that works - Contributions of biology, neurophysiology, psychology, sociology, medicine and musicology*, SpringerWienNewYork.
- Halpern, A. R., Martin, J. S., & Reed, T. D. (2008). An ERP Study of Major-Minor Classification in Melodies. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 25(3), 181–191.
- Halpern et al., ‘Psychoacoustics of a Chilling Sound’, *Perception & Psychophysics* 39 (2) 77-80, 1986
- Helmholtz, H. (1885). *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. (A. J. Ellis, Trans.). (2nd ed.). London: Longmans, Green.
- Henoch, M. A., & Chesky, K. (1999). Ear canal resonance as a risk factor in music-induced hearing loss. *Medical Problems of Performing Artists*, 14, 103–106.

- Hodges D. A., (2008) 'Bodily Responses to Music' In Hallam, S. Cross, I. & Thaut, M. (eds.), *Oxford Handbook of Music Psychology*. Oxford University Press
- Houtsma, A.J.M., Goldstein, J.L. (1972). The central origin of the pitch of complex tones: Evidence from musical interval recognition. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 51, 520–529.
- Hughes, S. M., Harrison, M. A., & Gallup, G. G., Jr. (2002). The sound of symmetry: Voice as a marker of developmental instability. *Evolution and Human Behavior*, 23, 173–180.
- Huron, D. (1991). Tonal consonance versus tonal fusion in polyphonic sonorities.
- Huron, D. (2002) 'A new theory of sensory dissonance: A role for perceived numerosity.' *Proceedings of the 7th International Conference for Music Perception and Cognition (ICMPC)*.
- Ihde, Don. (1976). *Listening and voice: A phenomenology of sound*. Athens, OH: Ohio State University Press.
- Ilnitchi, G. (2002), 'Musica mundana', *Aristotelian Natural Philosophy and Ptolemaic Astronomy, Early Music History*, Volume 21. © Cambridge University Press.
- James, J (1993), *The Music of the Spheres: Music, Science, and the Natural Order of the Universe*, New York Grove Press.
- Keller, D. (2013). Book review: Neuroaesthetics. *British Journal of Aesthetics*, 53(1), 125–136.
- Koelsch, St., Siebel, W.A. (2005) 'Towards a neural basis of music perception', *TRENDS in Cognitive Sciences*. 9(12).
- Koelsch, S., Fritz, T., von Cramon, D. Y., Müller, K., & Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27, 239–250.
- Kumar, S., Forster, H. M., Bailey, P. J., & Griffiths, T. D. (2008). Mapping unpleasantness of sounds to their auditory representation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 124(6), 3810–3817.
- Levitin, D. J. (1999). Tone deafness: Failures of musical anticipation and self-reference. *Inter. J. Comput. Anticip. Sys.*, 4, 243–254.
- Levitin, D. J., & Tirovolas, A. K. (2009). *Current Advances in the Cognitive Neuroscience of Music. Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 211–231.
- Levitin, D. J. (2006). *This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. New York: Penguin Group, Inc.

- Lindblom, B., Sundberg, J. (2009) 'The Human Voice in Speech and Singing' In Haas, R., Brandes, V. (eds.) *Music that works - Contributions of biology, neurophysiology, psychology, sociology, medicine and musicology*, SpringerWienNewYork.
- Lindenlauf, A. (2005). Review of Akroasis. Der akustische Sinnesbereich in der griechischen Literatur bis zum Ende der klassischen Zeit. Tübinger Phänomenologische Bibliothek [Akroasis. The acoustic sensory area in Greek literature until the end of the classical period, Tubingen Phenomenological Library] by G. Wille. Bryn Mawr Classical Review, 9, 1–7.
- Lipari, L.A. (2020). 'Phenomenological Approaches'. In Worthington, D.L. and Bodie, G.D. (eds.) *The Handbook of Listening*, John Wiley & Sons.
- Lubman, D. (2009) 'Did paleolithic cave artists choose resonant locations for paintings?', *The Journal of the Acoustical Society of America* 125, 2736-2736.
- Lyon, R.H. (2004) 'Product sound quality – from design to perception', *Proc. INTER-NOISE 04* (Int. Inst. Noise Control Eng.)
- Lyon, R.H. (2000) *Designing for product sound quality*, New York: Marcel Dekker.
- Mace, D. T. (1970). 'Marin Mersenne on Language and Music'. *Journal of Music Theory*, 14(1), 2.
- Machens, C.K., Wehr, M.S., Zador, A.M. (2004). 'Linearity of cortical receptive fields measured with natural sounds'. *J. Neurosci.* 24, 1089–1100.
- Maling, G.C.Jr. (2007). 'Noise' In Rossing, T.D. (ed.) *Handbook of Acoustics*, New York: Springer.
- Marshall, H. R. (1894). Pain, pleasure and aesthetics. An essay concerning the psychology of pain and pleasure with special reference to aesthetics. London: Macmillan and Co..
- McDermott, J.H. (2012) 'Auditory Preferences and Aesthetics: Music, Voices, and Everyday Sounds' In Dolan, R., Sharot, T. *Neuroscience of Preference and Choice - Cognitive and Neural Mechanisms* 227-256, London: Elsevier.
- McDermott JH, Lehr AJ, Oxenham AJ (2010) Individual differences reveal the basis of consonance. *Curr Biol* 20(11): 1035–1041.
- Merleau-Ponty, M. (1962). *Phenomenology of perception* (C. Smith, Trans.). New York: Routledge.
- Meyer, L. B. (1956). Emotion and meaning in music. Chicago: University of Chicago Press.

- Miller, G. (2000) 'Evolution of human music through sexual selection' In Wallin, N. L. Merker, B. & Brown, S. (Eds.). *The Origins of Music*. New York: MIT.
- Mion, M. & Martini, A. (2021) Hermann von Helmholtz and the aesthetics of the acoustics, *Hearing, Balance and Communication*, 19:1, 65-69.
- Miyake, K., & Zuckerman, M. (1993). 'Beyond personality impressions: Effects of physical and vocal attractiveness on false consensus, social comparison, affiliation, and assumed and perceived similarity'. *Journal of Personality*, 61(3), 411–437.
- Moore, G. (2002). Art and evolution: Nietzsche's physiological aesthetics. *British Journal for the History of Philosophy*, 10, 109–126.
- Nadal, M., & Pearce, M. T. (2011). *The Copenhagen Neuroaesthetics conference: Prospects and pitfalls for an emerging field*. *Brain and Cognition*, 76(1), 172–183.
- Nadler, S. (2008). (ed.), *A Companion to Early Modern Philosophy*, John Wiley & Sons.
- Nelken, I. (2004): Processing of complex stimuli and natural scenes in the auditory cortex, *Curr. Opin. Neurobiol.* 14, 474–480.
- O'Callaghan, C. (2017). *Sounds: A philosophical theory*. New York: Oxford University Press.
- Ogawa S, Lee T-M, Kay AR, Tank DW. Brain Magnetic Resonance Imaging with Contrast Dependent on Blood Oxygenation. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1990;87:9868–9872.
- Pearce, M. T., & Wiggins, G. A. (2006). Expectation in melody: The influence of context and learning. *Music Perception*, 23, 377–405.
- Peretz, I., & Zatorre, R. J. (Eds.). (2003). *The cognitive neuroscience of music*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Peretz, I. (2010). Towards a neurobiology of musical emotions. In P. Juslin & J. Sloboda (Eds.), *Handbook of music and emotion: Theory, research, applications* (pp. 99–126). Oxford: Oxford University Press.
- Peterson, G. E., & Shoup, J. E. (1966). 'The Elements of an Acoustic Phonetic Theory'. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 9(1), 68.
- Pinker, S. (1997) *How the Mind Works*. New York: W.W. Norton & Co.

- Plomp, P. (1970) Timbre as a multidimensional attribute of complex tones. In: *Frequency Analysis and Periodicity Detection in Hearing*, ed. by R. Plomp, G.F. Smoorenburg (Sijthoff, Leiden).
- Plomp R, Levelt WJ (1965) Tonal consonance and critical bandwidth. *J Acoust Soc Am* 38(4):548–560.
- Purves, D. (2017). *Music as Biology: The Tones We Like and Why*, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Pöhlmann, E. (2020). Acoustics. In *A Companion to Ancient Greek and Roman Music* (eds T.A. Lynch and E. Rocconi).
- Reuert, C. (2011) Physiological and acoustical correlates of unpleasant sounds, *Journal of the Acoustical Society of America (JASA)*, Vol. 130/4.
- Rogers, G. L. (2016). ‘The Music of the Spheres’. *Music Educators Journal*, 103(1), 41–48.
- Rossing, T.D. (2007) ‘A Brief History of Acoustics’ In Rossing, T.D. (ed.) *Handbook of Acoustics*, New York: Springer.
- Samson, S., Zatorre, R. J. (1994). *Contribution of the right temporal lobe to musical timbre discrimination. Neuropsychologia*, 32(2), 231–240.
- Schwartz DA, Howe CQ, Purves D (2003) The statistical structure of human speech sounds predicts musical universals. *J Neurosci* 23(18):7160–7168.
- Skov, M., & Vartanian, O. (2009). Introduction: What is neuroaesthetics. In M. Skov, & O. Vartanian (Eds.), *Neuroaesthetics* (pp. 1–7). Amityville, NY: Baywood.
- Stamou, L (2002). 'Plato and Aristotle on music and music education: Lessons from ancient Greece', *International Journal of Music Education*, vol. 39, no. 1, pp. 3-16.
- Stewart, L., Overath, T., Warren, J. D., Foxton, J. M., & Griffiths, T. D. (2008). FMRI evidence for a cortical hierarchy of pitch pattern processing. *PLoS One*, 3, e1470.
- Terhardt E (1984) The concept of musical consonance: A link between music and psychoacoustics. *Music Percept* 1(c):276–295.
- Terhardt E (1974) Pitch, consonance, and harmony. *J Acoust Soc Am* 55(5):1061–1069.
- Teumner-Rhodes, S., Kuchinsky, S.E. (2020) ‘Psychological Approaches’ In Worthington, D.L. and Bodie, G.D. (eds.) *The Handbook of Listening*, John Wiley & Sons.

- West, M. L. (1992). *Ancient Greek Music*, Clarendon Press.
- Worthington D. L., Bodie, G. D. *The Handbook of Listening*, Wiley (Blackwell), 2020.
- Yost W.A. (2015), 'Psychoacoustics: A Brief Historical Overview', *Acoustics Today*, 11(3).
- Yost, W. A. (2009). 'Pitch perception'. *Attention, Perception, & Psychophysics* 71, 1701-1715.
- Young, E. (2007). 'Physiological Acoustics' In Rossing, T.D. (ed.) *Handbook of Acoustics*, New York: Springer.
- Zeki, S. (1998). Art and the brain. *Daedalus*, 127, 71–103.
- Zuckerman, M., & Driver, R. E. (1989). What sounds beautiful is good: The vocal attractiveness stereotype. *Journal of Nonverbal Behavior*, 13(2), 67–82.