Φυσική Έγχορδων Μουσικών Οργάνων

Από τον **Μεταβαρόνο Isnogood.**

1) Γενικά για τα κύματα.

Ένα ορισμός που περιγράφει το κύμα είναι αυτός που λέει ότι κύμα είναι μια διαταραχή με κύριο χαρακτηριστικό τη μεταφορά ενέργειας από ένα σημείο του μέσου διάδοσης σε ένα άλλο. Είτε μιλάμε για ηλεκτρομαγνητικά κύματα , είτε για μηχανικά κύματα, και στις δύο περιπτώσεις έχουμε, είτε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, είτε κινητική, να διαδίδεται στο μέσο.

Η κυριότερη διαφορά που έχουν τα μηχανικά κύματα από τα ηλεκτρομαγνητικά , όσον αφορά τη διάδοση , είναι το μέσο διάδοσης. Όπως φανερώνει και το όνομά του, μέσο διάδοσης ονομάζουμε το μέσο στο οποίο το κύμα διαδίδεται ,και συνεπώς μεταφέρει ενέργεια. Ενώ λοιπόν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό, τα ,μηχανικά κύματα χρειάζονται ένα μέσο για να διαδοθούν, είτε αυτό είναι αέρας, είτε κάποιο άλλο υλικό. Λόγω του αντικειμένου της εργασίας ,θα ασχοληθούμε με τα μηχανικά κύματα.

Ξεκινώντας από την αρχή, η κατανόηση των κυμάτων προϋποθέτει τη γνώση βασικών εννοιών , όπως η ταλάντωση. Ταλάντωση γενικά , είναι μια παλινδρομική κίνηση που εκτελεί ένα σώμα γύρω από μια θέση ισορροπίας. Όταν δε , η απομάκρυνση του σώματος από τη θέση ισορροπίας είναι ημιτονοειδής συνάρτηση του χρόνου και γίνεται σε ευθεία γραμμή, ή αλλιώς ικανοποιεί τη διαφορική εξίσωση:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \quad ,$$

τότε η ταλάντωση καλείται Αρμονική. Η λύση της διαφορικής εξίσωσης είναι ;

$$x(t) = A\sin(\omega t + \phi)$$

όπου Α= πλάτος ταλάντωση(μέγιστη απομάκρυνση)
ω = η γωνιακή συχνότητα (εκφράζει τη ταχύτητα με την οποία εκτελείται το φαινόμενο) και φ η αρχική φάση (σχετίζεται με τη θέση του σώματος τη στιγμή t=0).

Κατά τη διάδοση ενός μηχανικού κύματος, τα μόρια του μέσου εκτελούν και αυτά μικρές ταλαντώσεις γύρω από τις θέσεις τους ισορροπίας. Με εξαίρεση τα στέρεα μέσα διάδοσης, η διάδοση των ακουστικών κυμάτων στα υγρά και τον αέρα γίνεται με διαμήκη κύματα. Διαμήκη λέγονται τα κύματα, στα οποία η διεύθυνση ταλάντωσης των μορίων, είναι ίδια με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Η δημιουργία ενός ακουστικού κύματος προϋποθέτει την ύπαρξη μιας πηγής η οποία θα δημιουργεί τις απαραίτητες διαταραχές. Ας υποθέσουμε ότι μιλάμε για τη μεμβράνη ενός ηχείου στερεοφωνικού συστήματος. Το πιο κατανοητό παράδειγμα είναι η εκπομπή ενός μπάσου και απότομου ήχου , η μεμβράνη, θα κάνει μια απότομη κίνηση μπροστά και πίσω. Η κίνηση αυτή θα δημιουργήσει ένα πύκνωμα αέρα ακριβώς μπροστά από τη μεμβράνη.(1^o) Αυτό το πύκνωμα του αέρα συνεπάγεται υψηλή πίεση. Αυτή λοιπόν η υψηλή πίεση , είναι που θα αναγκάσει τα αμέσως γειτονικά μόρια του αέρα να δημιουργήσουν με τη σειρά τους αυτά ένα 2^o στρώμα υψηλής πίεσης το οποίο ουσιαστικά θα συνεχίσει να διαδίδεται. Εντωμεταξύ όμως, το πρώτο στρώμα αφενός, έχει ήδη μεταδώσει την ενέργεια που είχε αποθηκεύσει, αφετέρου έχει να «αντιμετωπίσει» την μεμβράνη που έχει υποχωρήσει προς τα πίσω. Έτσι δημιουργείται ένα αραίωμα στον αέρα το οποίο για τους ίδιους λόγους διαδίδεται διαδοχικά στα μόρια του αέρα. Ένα άλλο παράδειγμα, και μάλιστα πιο διαδεδομένο, είναι μια σειρά από σφαίρες, οι οποίες σχηματίζουν μια ευθεία, και είναι ενωμένες με ελατήρια. Αν μετακινήσουμε την αρχική σφαίρα (ή μια οποιαδήποτε άλλη) από τη θέση ισορροπίας της , θα δημιουργηθεί μια διαταραχή ,η οποία θα διαδοθεί και στις υπόλοιπες σφαίρες.
Γενικά η εξίσωση ενός ημιτονοειδούς κύματος είναι:

$$y(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \phi)$$

Επίσης χρησιμοποιείται και η μορφή $y = \alpha * e^{i(\omega t - kx)}$ η οποία εξυπηρετεί στις πράξεις.

Η συνάρτηση αυτή, έχει ως είσοδο, το σημείο του κύματος (μιλάμε για μονοδιάστατη διάδοση κύματος), και τη στιγμή που θέλουμε να μελετήσουμε το κύμα , και ως έξοδο έχει το μέγεθος της διαδιδόμενης διαταραχής στο δοσμένο τόπο και χρόνο. Αυτή η συνάρτηση καλύπτει και τα διαμήκη και τα εγκάρσια κύματα, με τα οποία θα ασχοληθούμε παρακάτω.

2) Συχνότητα.

Αρχικά θα ορίσουμε τη συχνότητα. Ο ορισμός που θα χρησιμοποιηθεί, τουλάχιστον αρχικά , θα βασίζεται πάνω στην ταλάντωση που κάνει ένα μόριο του μέσου. Συγκεκριμένα είναι ο αριθμός των ταλαντώσεων που εκτελεί ένα μόριο του μέσου στη μονάδα του χρόνου, κατά τη διέλευση ενός κύματος. Αλλιώς , θα μπορούσαμε να την ορίσουμε , ως τον αριθμό των πλήρη κυμάτων που περνάνε από ένα σημείο του μέσου, στη μονάδα του χρόνου. Οι 2 αυτοί ορισμοί, ουσιαστικά είναι πανομοιότυποι, απλά ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει την ιδέα της κίνησης και διάδοσης, άρα είναι και πιο περιγραφικός. Σε αυτό το σημείο σκόπιμο θα ήταν να ορίσουμε το πλήρες κύμα:

Έστω ότι έχουμε **5 ισαπέχοντα** σημεία πάνω σε ένα τεντωμένο σκοινί, τα Α,Β,Γ,Δ,Ε. Αν μεταφέρουμε μια διαταραχή στην άκρη του σκοινιού κάθετα σε αυτό, το Α θα μετακινηθεί (Ας θεωρήσουμε προς τα πάνω.) Αυτή η διαταραχή, θα μεταδοθεί και στα υπόλοιπα. Ας υποθέσουμε όταν η διαταραχή φτάσει στο Β, το Α ταυτόχρονα έχει φτάσει στο υψηλότερο σημείο που θα μπορούσε, και αυτό χρειάστηκε χρόνο t για να γίνει. Τότε ύστερα από ένα παρόμοιο χρονικό διάστημα , αυτό που θα συμβεί, θα είναι ότι το Γ θα ξεκινάει τη κίνησή του, το Β θα έχει φτάσει στο υψηλότερο σημείο που θα μπορούσε να φτάσει, και το Α, θα έχει φτάσει στη θέση ισορροπίας του, με ταχύτητα προς τα κάτω. Αντιστοίχως, σε χρόνο 3t , το Α, θα είναι στο χαμηλότερο σημείο του , το Β στη θέση ισορροπίας, το Γ στο ανώτερο σημείο του , και το Δ θα ξεκινά. Τελικά, σε χρόνο 4t , το Α έχει επιστρέψει στη θέση του, με ταχύτητα προς τα πάνω, το Β είναι στο χαμηλότερο σημείο, το Γ στη θέση ισορροπίας, το Δ στο ψηλότερο σημείο, και το Ε ετοιμάζεται να ξεκινήσει προς τα πάνω.

	Α	Β	Γ	Δ	Ε
0t	Ξεκινά	Ακίνητο	Ακίνητο	Ακίνητο	Ακίνητο
1t	Ψηλά	Ξεκινά	Ακίνητο	Ακίνητο	Ακίνητο
2t	Θ.Ι.	Ψηλά	Ξεκινά	Ακίνητο	Ακίνητο
3t	Χαμηλά	Θ.Ι.	Ψηλά	Ξεκινά	Ακίνητο
4t	Θ.Ι.	Χαμηλά	Θ.Ι.	Ψηλά	Ξεκινά

Είναι φανερό , πως το Α θα επαναλάβει την κίνηση που έκανε στην αρχή. Η εικόνα που έχουμε σε αυτό το σημείο είναι ένα πλήρες κύμα. Το παράδειγμα αυτό, συγκριτικά με το αρχικό που είχε παρατεθεί, έχει 2 βασικά πλεονεκτήματα. Αφενός, είναι πιο αναλυτικό, αφετέρου, εισάγει μεγέθη όπως περίοδος , και μήκος κύματος.

Σε αυτό το σημείο να γίνει μια διευκρίνιση. Ο ορισμός που δώσαμε για το κύμα είναι , *μια διαταραχή που διαδίδεται στο χώρο.* Στο παραπάνω παράδειγμα , θεωρήσαμε ότι η **διάδοση γίνεται ομοιόμορφα**, ότι δηλαδή, η ταχύτητα του κύματος κατά τη διάδοση του παραμένει σταθερή. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται ομοιογενές μέσο, κάτι το οποίο θα αναλύσουμε αργότερα. Για την ώρα θεωρούμε ότι η ταχύτητα είναι σταθερή στο ίδιο μέσο.

Έχοντας στο μυαλό μας το παραπάνω παράδειγμα και την διευκρίνιση, μπορούμε πλέον να ορίσουμε τη περίοδο. Το σημείο Α χρειάστηκε χρόνο 4t για να ξεκινήσει την επανάληψη της κίνησής του. Αυτός ο χρόνος είναι η **περίοδος** του κύματος= **T**. , και ορίζει το χρόνο που χρειάζεται το κύμα για να ολοκληρώσει το κύκλο του. Ο αντίστροφός του είναι η **συχνότητα** του κύματος **f** και ισούται με τον αριθμό των πλήρη κύκλων που έχουμε στη μονάδα του χρόνου.

$$f = \frac{1}{T}$$

Η μονάδα μέτρησης της περιόδου είναι φυσικά το s ενώ της συχνότητας s^{-1} ή αλλιώς Hz όπου σημαίνει επαναλήψεις ανά δευτερόλεπτο.

Τελευταίο έμεινε το μήκος κύματος, είναι ουσιαστικά η απόσταση που διέσχισε η διαταραχή, σε χρόνο μίας περιόδου. Από αυτό τον ορισμό έχουμε και τη κυματική εξίσωση $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ όπου c είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Να αναφέρουμε εδώ πως η συχνότητα έχει 2 συμβολισμούς, f και ν.

Στα διαμήκη ακουστικά κύματα , αυτό που ισχύει είναι η κατά διεύθυνση της κίνησης μετατόπιση των μορίων του αέρα, η οποία προκαλεί διαφορά συγκέντρωσης μορίων και συνεπώς διαφορά πίεσης. Αυτές οι διαδοχικές μεταβολές της πίεσης είναι που αισθάνεται η μεμβράνη του αυτιού, και υπάρχει η αίσθηση της ακοής. Η συχνότητα έχει μεγάλο ρόλο στην διαδικασία της ακοής.

Αρχικά θέτει τα όρια των ακουστικών κυμάτων που μπορεί να αντιληφθεί ένα όν. Ο άνθρωπος για παράδειγμα έχει την ικανότητα να αντιληφθεί ακουστικά κύματα συχνότητας από 20 Hz έως 20kHz, όπως επίσης και να ξεχωρίζει ήχους με διαφορά 7Hz. Κάποια χαρακτηριστικά ζώα, όπως οι νυχτερίδες έχουν την ικανότητα να αντιλαμβάνονται κύματα συχνότητας 120kHz. Διόλου παράξενο αν αναλογιστούμε ότι η ακοή είναι η κατευθυντήρια αίσθησή τους.

3) Συμβολή κυμάτων

Θα παραθέσουμε σε αυτό το σημείο μερικά πράγματα σχετικά με τη συμβολή των κυμάτων. Με τη λέξη συμβολή εννοούμε το φαινόμενο κατά το οποίο 2, ή περισσότερα κύματα στο ίδιο μέσο συναντιούνται. Το αποτέλεσμα στη περιοχή της συνάντησης των 2 κυμάτων είναι καθαρά αθροιστικό. Για να κατανοηθεί περισσότερο το παραπάνω θα ασχοληθούμε με τις 2 υποπεριπτώσεις της συνάντησης 2 όμοιων ακουστικών κυμάτων.

Αν ένα μέγιστο (πίεσης) συναντήσει ένα μέγιστο , από το άλλο κύμα τότε έχουμε ενίσχυση. Το σήμα μόλις διπλασίασε την ισχύ του(λόγω όμοιων κυμάτων)

Ένα ελάχιστο συναντά ένα μέγιστο από το 2^{o} κύμα. Σε αυτή τη περίπτωση , το ένα αναιρεί το άλλο, με αποτέλεσμα 0.

Γενικά υπάρχουν άπειροι συνδυασμοί κυμάτων, καθώς αυτά διαφέρουν στον αριθμό, την ένταση, τη συχνότητα. Σκοπός της κιθάρας, και των μουσικών οργάνων γενικότερα είναι η παραγωγή των κατάλληλων κυματικών συνδυασμών , που αποκαλούμε μουσική. Σε αυτό το σημείο θα παραθέσουμε κάποια μουσικά στοιχεία τα οποία αναλύονται μέσα από ένα πιο μαθηματικό υπόβαθρο.

4) Στάσιμα κύματα

Τα στάσιμα κύματα είναι η πλέον βασική μορφή συνδυασμού κυμάτων στα μουσική όργανα Πάνω σε αυτά βασίζεται ο ήχος που βγάζει σχεδόν κάθε μουσικό όργανο. Στην αρχή του κειμένου αναφέραμε τα κύματα παραλείποντας όμως κάποιες σημαντικές ιδιότητες. Η βασικότερη ιδιότητα ,σε σχέση με τις χορδές τις κιθάρας είναι η ανάκλαση. Όταν ένα κύμα, το οποίο ταξιδεύει πάνω σε μια χορδή συναντήσει ακλόνητο εμπόδιο, τότε ανακλάται με αντίθετο πλάτος, ή αλλιώς διαφορά φάσης 180^{o}. Στην πραγματικότητα αυτό δεν συμβαίνει, αλλά πλησιάζει αρκετά στην «τέλεια» ανάκλαση. SOS Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη σύνθεση των 2 κυμάτων (του αρχικού και του ανακλώμενου)

Έστω η κυματική εξίσωση του αρχικού κύματος είναι:

$y = \alpha * e^{i(\omega t - kx)}$ όπου εννοείται ότι κρατάμε το πραγματικό μέρος. Το κύμα που ανακλάται ταξιδεύει με αντίθετη ταχύτητα έχει τύπο: $y = b * e^{i(\omega t + kx)}$. Όμως δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το 2^{o} κύμα προήλθε από ανάκλαση του $1^{ου}$, άρα το πλάτος του θα είναι β=-α. Το αποτέλεσμα της συμβολής θα είναι :

$$y = (-2i)a * e^{i\omega t} * \sin kx$$

το οποίο ικανοποιεί τη χρονικά ανεξάρτητη μορφή στάσιμου κύματος. Αν μελετηθεί πιο πρακτικά ,ουσιαστικά βλέπουμε ότι κάθε σημείο της χορδής εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, σε επίπεδο κάθετο στη χορδή, με πλάτος που εξαρτάται από το σημείο της χορδής.

5) Συχνότητα και Μουσική

Καταρχάς να κάνουμε μερικές διευκρινήσεις σχετικά με τη μουσική που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή την εργασία.

Φθόγγος. Ο φθόγγος, η αλλιώς γνωστή μας νότα , είναι ένα ακουστικό ερέθισμα του οποίου το κύριο χαρακτηριστικό, είναι η συγκεκριμένη συχνότητα

Οκτάβα. Η οκτάβα μιας νότας, από την άποψη της φυσικής , είναι ένα πανομοιότυπο ηχητικό κύμα, με τη διαφορά ότι η συχνότητα έχει πολλαπλασιαστεί κατά ένα παράγοντα 2^{ν} όπου το ν είναι ακέραιος. Το πρόσημο του ν καθορίζει αν λέμε οκτάβα πάνω, ή κάτω, ενώ το απόλυτο ν ισούται με τον αριθμό των οκτάβων που ανεβαίνουμε ή κατεβαίνουμε. Από μουσική άποψη είναι το ελάχιστο μουσικό διάστημα που περιλαμβάνει όλες τις νότες. Μετά από αυτό , οι νότες επαναλαμβάνονται, με τη διαφορά μιάς ή περισσοτέρων οκτάβων.

Το τονικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το 12τονο σύστημα της δυτικής μουσικής. Αυτό σημαίνει ότι η οκτάβα που προαναφέραμε έχει χωριστεί σε 12 ίσα μέρη-φθόγγους. Με τη λέξη ίσα εννοούμε ότι ο λόγος των συχνοτήτων 2 διαδοχικών φθόγγων παραμένει σταθερός (Συγκερασμός)

Η μουσική γραφή που χρησιμοποιείται είναι επίσης το Δυτικό σύστημα, λόγω της γρήγορης γραφής που έχει Αναφορικά είναι:

C	D	E	F	G	A	B
Ντο	Ρε	Μι	Φα	Σολ	Λα	Σι

Η πρώτη σύνδεση μεταξύ μουσικής και μαθηματικών αποδείχτηκε από τον Πυθαγόρα. Η σύνδεση αυτή, έγινε με το περίφημο μονόχορδο του Πυθαγόρα (προφανώς). Ο Πυθαγόρας ήταν ο πρώτος που μελέτησε τη τετρακτύ.

Ο ορισμός που υπάρχει στο λεξικό της Ελληνικής γλώσσας των **H.G.Liddell-R.Scott,** για τη λέξη «**τετρακτύς**» μας εξηγεί:

«Τετρακτύς-ύος (τετράδα), είναι όνομα που σημαίνει το άθροισμα των τεσσάρων πρώτων αριθμών, δηλαδή ο αριθμός 10(=1+2+3+4), τον οποίο οι Πυθαγόρειοι ενόμιζαν ως τη ρίζα ή την πηγή κάθε δημιουργίας, και ο οποίος αποτελούσε τον μέγιστο και ιερώτερο όρκο τους»

Μελετώντας τη τετρακτύ , ο Πυθαγόρας, με τη βοήθεια μιας τεντωμένης χορδής, έφτασε σε κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με τα μήκη χορδών και τη μουσικότητα. Αρχικά, δημιουργώντας κλάσματα από τους αριθμούς 1,2,3 και 4, έφτασε να παρατηρήσει τους αριθμούς 1 , 2/3 ,3/4 , 2. Αυτά τα κλάσματα, αν τα εφάρμοζε πάνω στη χορδή, τότε η χορδή παρήγαγε νότες που ταιριάζανε με την αρχική.

Αν η χορδή ήταν μια κουρδισμένη νότα C τότε το ½ της χορδής παρήγαγε το C μια οκτάβα παραπάνω. Στα 2/3 της χορδής, η παραγομένη νότα ήταν G , δηλαδή μια πέμπτη. Στα ¾ της χορδής η παραγόμενη νότα ήταν F, μια τέταρτη παραπάνω.

Με τη χρήση του παρακάτω πίνακα μπορούμε:

Να δούμε τις νότες που θα παρήγαγε κάθε χορδή

Να φτιάξουμε τα βήματα για να πάμε από οποιαδήποτε χορδή σε οποιαδήποτε νότα. Πχ για να πάμε από μια χορδή G σε μια νότα E, πρέπει απλά να πάρουμε 3 φορές τα 2/3 της χορδής, δηλαδή $(2/3)^3$ =8/27. Παρατηρούμε ότι πρόκειται για το1/3.375 της χορδής, γεγονός που καθιστά μη πρακτικό αυτό το φαινόμενο. Η λύση είναι να πάρουμε τα 8/27, και να τα διπλασιάσουμε, όσες φορές θέλουμε φτάνει να μην υπερβεί το κλάσμα μας τον αριθμό 1. Δεν θα ήταν πρακτικό να ζητάμε τα 32/27 μια χορδής!!!. Ο λόγος που ο διπλασιασμός δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα είναι ότι ο διπλασιασμός του τμήματος της χορδής έχει ως μόνο αποτέλεσμα το χαμήλωμα του φθόγγου κατά μια οκτάβα. Άρα θα έχουμε πάλι E, απλά μια οκτάβα χαμηλότερα. Το αποτέλεσμα θα είναι 2*(8/27)=16/27.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
2/3 της χορδής	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
3/4 της χορδής	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E

Με αυτή τη λογική μπορούμε να «χτίσουμε» τα πρώτα 12 τάστα μιας κιθάρας, βασισμένα στα απαραίτητα μήκη της χορδής. Υποθέσουμε ότι η χορδή μας είναι η E (όπου είναι η 1η και η 6η της κιθάρας) και ότι έχει μήκος 1. Τότε για την υπόλοιπη ταστιέρα θα έχουμε, με βάση το παραπάνω πίνακα:

Τάστο	**Νότα**	**Μήκος χορδής**	**Κατάλληλη 8va**	**Ποσοστό χορδής**
0	E	1	1	1,0000
1	F	128/2187	2048/2147	0,9539
2	F#	4/9	8/9	0,8889
3	G	27/64	54/64	0,8438
4	G#	16/81	64/81	0,7901
5	A	3/4	3/4	0,7500
6	A#	64/729	512/729	0,7023
7	B	2/3	2/3	0,6667
8	C	256/6561	4096/6561	0,6243
9	C#	8/27	16/27	0,5926
10	D	9/16	9/16	0,5625
11	D#	32/243	128/243	0,5267
12	E	4096/531441	262144/531441	0,4932

Ευνόητο είναι πως οι αποστάσεις των τάστων που υπολογίστηκαν είναι ανεξάρτητες από την επιλογή της ανοιχτής χορδής. Παρατηρείται το εξής παράδοξο όμως: Υπολογίζοντας τις πέμπτες κάθε χορδής, καταλήξαμε σε συμπέρασμα ότι η οκτάβα, δεν χρειάζεται το ½ της χορδής αλλά κάτι απειροελάχιστα μικρότερο. Αν σκεφτούμε επαγωγικά, τότε εφόσον όλες οι νότες υπολογίστηκαν με τον ίδιο τρόπο, τότε υπολογίστηκαν λάθος!

Αυτό που μόλις αντιμετωπίσαμε στο παραπάνω πίνακα ήταν ένα πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίζαν μέχρι και το 18ο αιώνα. Για να το εξηγήσουμε , θα δώσουμε το εξής παράδειγμα :

Έστω είχαμε 2 χορδές, φτιαγμένες για να παράγουν τις νότες D,E. Η κάθε χορδή , θα παρήγαγε σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του Πυθαγόρα τις εξής νότες στα 2/3 και ¾:

	1	2	**3**	4	**5**	6	7	8	9	10	11	12
	C	C#	**D**	D#	**E**	F	F#	G	G#	A	A#	B
2/3	G	G#	**A**	A#	**B**	C	C#	D	D#	E	F	F#
3/4	F	F#	**G**	G#	**A**	A#	B	C	C#	D	D#	E

Άρα και οι 2 χορδές θα ήταν σε θέση να παράγουν τη νότα Α. Όμως αυτή η νότα θα ακουγόταν διαφορετικά σε κάθε χορδή. Ο λόγος είναι ότι ολόκληρη η κλίμακα υπολογίστηκε συναρτήσει της αρχικής νότας. Η διαφορά, ανάμεσα στις 2 χορδές ,θα ήταν απειροελάχιστη, αλλά υπαρκτή. Προχωρώντας στις νότες, θα διαπιστώναμε ότι οι απειροελάχιστες διαφορές θα αθροίζονταν με αποτέλεσμα το παράδοξο που εμφανίστηκε παραπάνω, αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έγινε με το **συγκερασμό**, φαινόμενο που θα συζητήσουμε παρακάτω, αφού μελετήσουμε το θέμα από άλλη οπτική γωνία.

6) Δυναμική Μελέτη των ταλαντώσεων

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε δεδομένο ότι μια χορδή στερεωμένη σε ακλόνητα σημεία έχει τη δυνατότητα να ταλαντωθεί σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε αυτό φαινόμενο, αναλύοντας παράλληλα τις επιμέρους παραμέτρους. Επίσης θα ερευνηθούν τα οποιαδήποτε αίτια υπάρχουν μεταβολής της συχνότητας της χορδής.
Όπως προαναφέραμε στα στάσιμα κύματα , η εξίσωση του στάσιμου κύματος είναι της μορφής :

$$y = (-2i)a * e^{i\omega t} * \sin kx$$

Επίσης αναφέραμε ότι ικανοποιεί τη χρονικά ανεξάρτητη μορφή στάσιμου κύματος η οποία είναι:

$$\partial^2 y / \partial x^2 + k^2$$

Αν λάβουμε υπόψη και τις αρχικές συνθήκες τότε πρέπει, για κάθε t:

$\sin kl = \sin \dfrac{\omega l}{c} = 0$ ή $\dfrac{\omega l}{c} = n\pi$ περιορίζοντας έτσι τις επιτρεπόμενες τιμές της συχνότητας στις τιμές $\omega_n = \dfrac{n\pi c}{l}$ ή $v_n = \dfrac{nc}{2l} = \dfrac{c}{\lambda_n}$

όπου $l = \dfrac{n\lambda_n}{2}$ το οποίο μας δίνει:

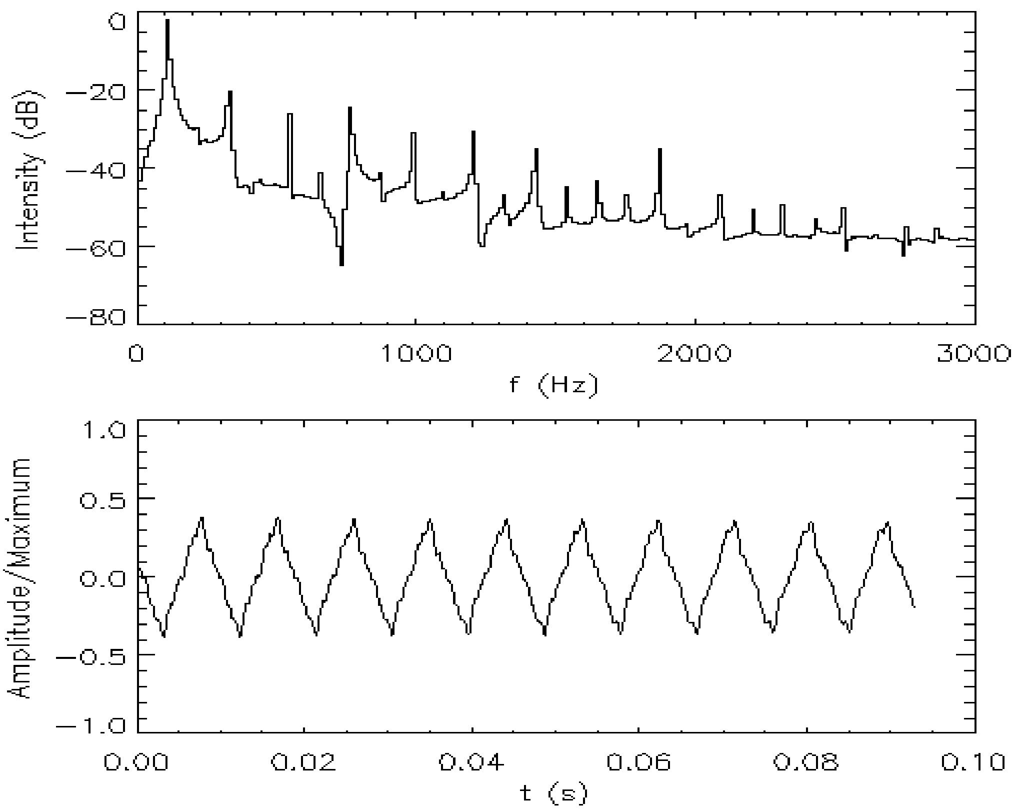
$$\sin \frac{\omega_n x}{c} = \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Οι συχνότητες αυτές είναι οι *κανονικές συχνότητες* , ή αλλιώς *ιδιοσυχνότητες*, όπως αναφέρονται στη κυματομηχανική. Οι επιτρεπόμενες αυτές συχνότητες ορίζουν το μήκος της χορδής σαν ακριβές πολλαπλάσιο ημιμηκών κύματος . Οι τιμές της συχνότητας για διάφορες τιμές του n είναι οι αρμονικές της χορδής, όπου η τιμή για n=1 ονομάζεται θεμελιώδης.
Αν το δούμε αντίστροφα ,τότε, το n ουσιαστικά ορίζει τον αριθμό των ημιμηκών κύματος που θα υπάρχουν στα όρια της πεπερασμένης χορδής. Αν συνδυάσουμε αυτό το δεδομένο, με τη κυματική εξίσωση που είδαμε παραπάνω, τότε ο συχνότητες των κανονικών τρόπων ταλάντωσης υπολογίζονται με τον ακόλουθο τρόπο. Αν το μήκος κύματος αρχικά είναι 2L, μετά L, μετά 2L/3-> 2L/4->2L/5….τότε η συχνότητες των κανονικών τρόπων ταλάντωσης δίνονται από το τύπο:

$f_n = n * f_0 / 2$

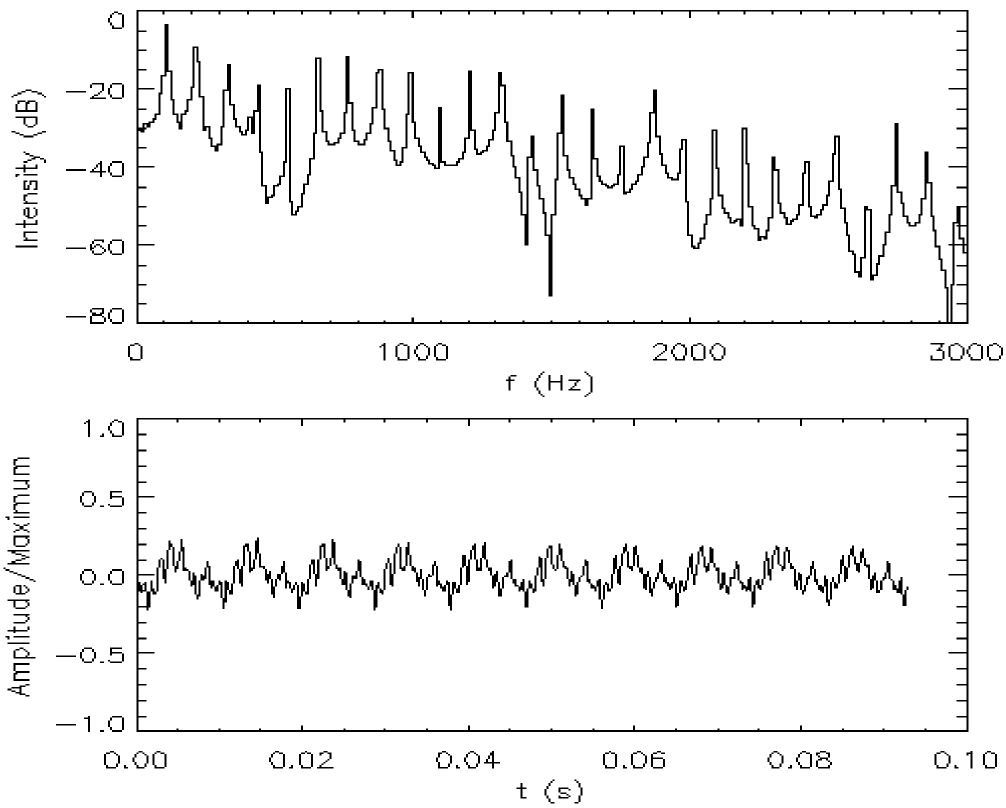
όπου $f_o/2$ είναι η συχνότητα με την οποία ταλαντώνεται η χορδή στο θεμελιώδη τρόπο ταλάντωσης
Αυτό σημαίνει πως όταν μια χορδή ταλαντώνεται, το κάνει όχι με μία συγκεκριμένη συχνότητα, αλλά και με άλλες υπερσυχνότητες (αν μπορούμε να το πούμε έτσι)ταυτόχρονα. Όλοι οι κανονικοί τρόποι ταλάντωσης μπορούν να συνυπάρχουν, και για να αναλυθεί το κύμα χρησιμοποιούμε τη μέθοδο Fourier.

Στα μουσικά όργανα, αυτή η ποικιλία συχνοτήτων που είναι σε θέση να παράγει το κάθε όργανο, είναι κατά μέρος η αιτία για το ηχόχρωμα του οργάνου. Ενώ κάποια όργανα είναι ιδιαίτερα φτωχά σε αρμονικούς, όπως π.χ. το φλάουτο, άλλα όπως το βιολί είναι σε θέση να παράγουν μια μεγάλη ποικιλία αρμονικών. Αυτό σε συνδυασμό με κάποια άλλα χαρακτηριστικά του οργάνου , όπως υλικά κατασκευής , τρόπος κατασκευής, τρόπος παιξίματος, είναι που δίνει σε κάθε όργανο το ξεχωριστό ήχο του. Μιλώντας πιο συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να πούμε πως ο ήχος της κιθάρας, είναι «κιθαριστικός» εξαιτίας του πακέτου αρμονικών που περιλαμβάνει το είδος της κρούσης που θα χρησιμοποιήσουμε , και του χρόνου που κάνουν οι διάφοροι παραγόμενοι τόνοι για να «σβήσουν». Αυτό σημαίνει ότι ανάλογα με το σημείο που θα χτυπήσουμε τη χορδή, παράγεται διαφορετικό κυματοπακέτο. (Ανεξάρτητα πάντα από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα των ηλεκτρικών οργάνων).Για τη καλύτερη κατανόηση των παραπάνω θα παραθέσουμε τις κυματομορφές από μια χορδή κιθάρας A, η οποία έχει ως βασική συχνότητα τα 110Hz.
Αρχικά οι μετρήσεις γίνονται πάνω σε χορδή, η οποία κρούστηκε στο **μέσο** της, κρούση που ευνοεί τους αρμονικούς που δημιουργούν μέγιστο στο μέσο της χορδής. Δηλαδή, το n, ο αριθμός των λ/2 στη χορδή, είναι περιττός. Άρα ευνοούνται οι αρμονικοί της μορφής (2n+1)*110Hz=110Hz,330 Hz,550 Hz,770 Hz…



Εδώ ο βασικός τόνος είναι τα 110Hz. Επίσης παρατηρούμε και μια σαφή υπεροχή των περιττών πολλαπλασίων του. Αυτή η κατανομή των συχνοτήτων είναι χαρακτηριστικό των νάιλον χορδών, και ακουστικά χαρακτηρίζεται ως «απαλός, ομοιογενής ήχος». Η κυματομορφή της έντασης , στο 2ο σχήμα , βλέπουμε ότι παραμένει σταθερή, δηλαδή, ο ήχος αργεί να σβήσει. Επίσης έχει τριγωνική μορφή, που παρατηρείται σε παρόμοια ((2n+1)*110Hz) πακέτα συχνοτήτων.

Στη δεύτερη μέτρηση που παραθέτουμε , η κρούση της χορδής μας γίνεται σε σημείο κοντά στη γέφυρα της κιθάρας. Αυτό το είδος της κρούσης ευνοεί τις αρμονικές που σχηματίζονται όταν έχουμε δεσμό στο μέσο της κιθάρας, άρα οι αρμονικές συχνότητες που παράγονται είναι της μορφής 2n 110Hz=220 Hz,440 Hz,660 Hz,880 Hz,1010 Hz….



Και πάλι ο βασικός μας τόνος είναι τα 110Hz, αλλά σε αυτή τη περίπτωση , υπεροχή έχουν τώρα οι αρμονικοί με συχνότητα αρτίου πολλαπλάσιου του 110Hz. Ο ήχος χαρακτηρίζεται ως πιο «τσιμπητός» με πιο πλούσιο φάσμα συχνοτήτων, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα. Το μειονέκτημα είναι ότι η ταλάντωση ξεκινάει με μικρότερο πλάτος, και επίσης σβήνει πιο γρήγορα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι σε αυτή τη περίπτωση , η ενέργεια του στάσιμου κύματος κατανέμεται σε μεγαλύτερο αριθμό κυμάτων, που σημαίνει ότι ξεκινά με χαμηλότερο πλάτος, και εξασθενεί πιο γρήγορα

Από τα παραπάνω, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το σύνθετο στάσιμο κύμα που δημιουργείται κατά τη κρούση μιας χορδής εξαρτάται από το σημείο που θα κρούσουμε τη χορδή. Αυτό είναι κάτι, που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην ερμηνεία μουσικών κομματιών, αφενός για να ταιριάζει στο είδος μουσικής, αφετέρου, για να μιμηθεί άλλα όργανα όπως το τσέμπαλο, και για να δώσει άλλο ύφος στο κομμάτι.

7) Χαρακτηριστικά χορδής και συχνότητα.

Η πλειονότητα των χαρακτηριστικών, εμφανίζεται στο τύπο των χορδών:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\rho}{T}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Η ταλάντωση που θα εκτελέσει μια χορδή μουσικού οργάνου, εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων.

Υλικό της χορδής: Χορδές κατασκευασμένες από υλικά όπως νάιλον έχουν την ιδιότητα να απορροφούν κάποιες συχνότητες με αποτέλεσμα να βγάζουν έναν πιο ελεγχόμενο ηχόχρωμα. Χορδές από σίδηρο έχουν πλουσιότερο ήχο, καθώς είναι σε θέση να παράγουν μεγαλύτερο αριθμό αρμονικών.

Κατασκευή της χορδής: Ο τρόπος με τον οποίο έχει κατασκευαστεί η χορδή διαφοροποιεί τον ήχο της. Στη κλασσική κιθάρα οι μισές χορδές (καντίνια) είναι από νάιλον, ενώ οι υπόλοιπες (μπάσες) είναι νάιλον τυλιγμένο με σύρμα. Αυτό αφενός, δίνει το περιθώριο στις μπάσες χορδές να έχουν έναν πιο γεμάτο ήχο. Από την άλλη όμως δημιουργείται ανομοιογένεια μεταξύ των χορδών. Προσπάθειες για τη λύση αυτού του προβλήματος γίνονται με τη προσθήκη ινών άνθρακα στα καντίνια της κιθάρας. Όσον αφορά τη κατασκευή της χορδής υπάρχει επίσης και το θέμα της πυκνότητας μάζας της κάθε χορδής, ένα χαρακτηριστικό που έχει σημαντικό ρόλο στην ιδιοσυχνότητα της χορδής. Σε χορδή με μικρή γραμμική πυκνότητα, το κύμα ταξιδεύει γρηγορότερα, με αποτέλεσμα στο στάσιμο κύμα που δημιουργείται, να έχουμε υψηλή ιδιοσυχνότητα. Σε χορδές με υψηλή γραμμική πυκνότητα, όπως είναι οι χορδές που τυλιχθήκαν με σίδηρο, έχουμε χαμηλότερη ταχύτητα διάδοσης, άρα χαμηλότερη συχνότητα.

Τάση της χορδής. Η τάση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς από αυτή εξαρτάται η ταχύτητα του κύματος στη χορδή μέσα από τη σχέση: $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ Η τάση της χορδής είναι το μέγεθος που καλείται ο κιθαρίστας να χρησιμοποιήσει για να ελέγξει την ιδιοσυχνότητα της χορδής. Με τη χρήση των κλειδιών κουρδίσματος έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει αυτό το μέγεθος, συνεπώς και την ιδιοσυχνότητα της. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε πως η τάση των χορδών ενός πιάνου είναι της τάξης των 20 τόνων.

Γεωμετρία της χορδής: Στη γεωμετρία της χορδής έχουμε 2 μεγέθη τη διάμετρο, και το μήκος. Ποιοτικά , μια παχύτερη χορδή, αλλά ίδια σε υλικά , τάση , και δομή, έχει αυξημένη γραμμική πυκνότητα, συνεπώς χαμηλότερη ιδιοσυχνότητα. Για το μήκος θα μιλήσουμε εκτενέστερα στη συνέχεια.

8) Μήκος χορδής και συχνότητα

Η μεταβολή μεγεθών όπως δομή, διάμετρος, υλικό χορδής είναι κάτι που είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει κατά την ερμηνεία ενός μουσικού κομματιού. Η τάση μεταβάλλεται (ιδιαίτερα στην ηλεκτρική κιθάρα) αλλά όχι σε ικανοποιητικό βαθμό. Αν λάβουμε υπόψη μας ότι τα παραπάνω παραμένουν σταθερά ,όπως συνεπώς και η ταχύτητα διάδοσης του κύματος, τότε, η λύση για τη παραγωγή μεγαλύτερου πλήθους φθόγγων έρχεται μέσα από τη κυματική εξίσωση.

$$c = \lambda f \Leftrightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

Το μήκος κύματος σε ένα στάσιμο κύμα σε χορδή πεπερασμένου μήκους εξαρτάται από το πεπερασμένο μήκος της χορδής, με τη σχέση λ/2=μήκος χορδής! (Μιλώντας πάντα για την ιδιοσυχνότητα). Με τη χρήση των τάστων , αυτό που επιτυγχάνουμε είναι να μεταβάλλουμε το μήκος τις χορδής, με τον τρόπο που θέλουμε , ώστε να παράγουμε την επιθυμητή συχνότητα!

Σε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια αναφορά σε έναν όρο που αναφέρθηκε παραπάνω, το συγκερασμό.
Οι παρατηρήσεις του Πυθαγόρα πάνω στη χορδή , δεν μπορούν να χαρακτηριστούν λανθασμένες. Πράγματι, στα ¾ και στα ⅔ της χορδής (νούμερα που δεν φαίνονται τόσο παράξενα τώρα!) παρατηρούνται συχνότητες που ταιριάζουν στο αυτί, με τη συχνότητα του κανονικού μήκους της χορδής. Τα προβλήματα της τότε εποχής ήταν ότι:
Δεν υπήρχαν τα απαραίτητα μαθηματικά και φυσική για τη μελέτη του φαινόμενου
Δεν ήταν δυνατόν να υπολογίσουν, και να ταλανίσουν το **4096/531441** ή **262144/531441** της χορδής (ποσοστό που υπολογίσαμε παραπάνω) για να δούνε τα μειονεκτήματα της θεωρίας του Πυθαγόρα.

Γενικά, δεν μπορούμε να αμφισβητήσουμε τόσο τα αποτελέσματα της θεωρίας, όσο τη πρακτικότητά της. Το πρόβλημα της θεωρίας, όπως προαναφέραμε ,ήταν ότι υπήρχε μεγάλη εξάρτηση από την αρχική χορδή. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα , έπρεπε να αντιμετωπίζονται όλες οι νότες ως ισοδύναμες ώστε να υπάρχει μια σχετική ευελιξία στα όργανα. Για να γίνει αυτό έπρεπε να πάρουμε ως σταθερό τονικό διάστημα την οκτάβα, και ξεκινώντας από εκεί, να κάνουμε το διαχωρισμό στις 12 νότες.
Για να γίνει ο διαχωρισμός σωστά, πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε οι τονικές αποστάσεις από τα 110 στα 220Hz να μην διαφέρουν από αυτές ανάμεσα από τα 880 στα 1760Hz. Έτσι καθορίστηκε η σχέση μεταξύ 2 νότων, να καθορίζεται από τη σχέση των συχνοτήτων τους . Ο ελάχιστος **λόγος** συχνοτήτων (ημιτόνιο) είναι ίσος με $2^{1/12}$. Αυτή διαδικασία «διόρθωσης» των φθόγγων είναι γνωστή ως συγκερασμός.

Από αυτά προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για τις σχέσεις των συχνοτήτων ανάλογα με το τάστο του, όπως επίσης και η σωστή κατανομή των τάστων στη κιθάρα. Για να υπολογίσουμε γενικά την αναλογία συχνοτήτων ανάμεσα από κάποιο αριθμό ημιτόνων , επιλέγουμε τον αριθμό των ημιτόνων από τη $2^{η}$ στήλη, και κοιτάμε την αντίστοιχη αναλογία συχνότητας. Καθώς η συχνότητα είναι αντίστροφη του μήκους κύματος, για να βρούμε και το σωστό πλέον μήκος χορδής, απλά βρίσκουμε τον αντίστροφο της αναλογίας.

Τάστο	Νότα	Αναλογία συχνότητας	Ποσοστό χορδής	Ποσοστό κατά Πυθαγόρα	Διαφορά Ποσοστών
0	E	1,0000	1,00000	1,00000	0,00000
1	F	1,0595	0,94387	0,95389	-0,01001
2	F#	1,1225	0,89090	0,88889	0,00201
3	G	1,1892	0,84090	0,84375	-0,00285
4	G#	1,2599	0,79370	0,79012	0,00358
5	A	1,3348	0,74915	0,75000	-0,00085
6	A#	1,4142	0,70711	0,70233	0,00477
7	B	1,4983	0,66742	0,66667	0,00075
8	C	1,5874	0,62996	0,62430	0,00567
9	C#	1,6818	0,59460	0,59259	0,00201
10	D	1,7818	0,56123	0,56250	-0,00127
11	D#	1,8877	0,52973	0,52675	0,00298
12	E	2,0000	0,50000	0,49320	0,00680

Τέλος τοποθετήσαμε τα αντίστοιχα δεδομένα από τη θεωρία του Πυθαγόρα, και την αντίστοιχη διαφορά τους. Αξιοσημείωτο είναι πάντως, ότι για να βρεθούν τα υπόλοιπα τάστα, απλά πολλαπλασιάζουμε τις τρέχουσες αναλογίες με 0.5

Οι αναλογίες που προτάθηκαν από το Πυθαγόρα ήταν σωστές **αισθητικά**. Η εξέλιξη ,όμως της μουσικής, μέσα στο χρόνο έφερε την ανάγκη για την κανονικοποίηση των νοτών.

9) Το σώμα της κιθάρας.

Οι χορδές από μόνες τους δεν έχουν τη δυνατότητα να δώσουν την απαραίτητη ένταση στο ηχητικό κύμα ώστε αυτό να ακουστεί. Αρχικά θα μιλήσουμε για το φαινόμενο της αντήχησης Helmholtz, έτσι ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να μελετήσουμε τις ιδιότητες του σώματος της κλασσικής κιθάρας.

10) Φαινόμενο Helmholtz

Ο ταλαντωτής Helmholtz είναι μια διάταξη στην οποία έχουμε ένα δοχείο με αέρα ,το οποίο έχει μια οπή. Ουσιαστικά ,κατά το φαινόμενο Helmholtz διαχωρίζουμε τον αέρα σε 2 μέρη. Τον όγκο του αέρα που καταλαμβάνει την οπή (A), και τον όγκο του αέρα που καταλαμβάνει όλο το δοχείο(B). Κατά το φαινόμενο αυτό ο όγκος A λειτουργεί ως μια μεμβράνη, ενώ ο όγκος B εκτελεί ταλάντωση. Όταν λέμε ότι εκτελεί ταλάντωση, εννοούμε ότι αυξομειώνει τον όγκο του περιοδικά. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως ο αέρας μέσα στο δοχείο μας, το οποίο είναι το σώμα της κιθάρας, εκτελεί ταλάντωση με **συγκεκριμένη συχνότητα**, η οποία είναι ιδιαίτερα χαμηλή.. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε τον τύπο της αντήχησης Helmholtz στα πλαίσια της κιθάρας

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL}}$$

όπου c είναι η ταχύτητα του ήχου, S είναι το εμβαδό της οπής που έχει η κιθάρα στη εμπρόσθια πλευρά της, V είναι ο όγκος του αέρα που βρίσκεται στο σώμα της κιθάρας, και L είναι το πάχος της οπής. Από τα παραπάνω φτάνουμε σε ένα

ενδιαφέρον συμπέρασμα , ότι το μέγεθος της οπής στην κλασσική κιθάρα είναι κάτι το οποίο έχει ένα σημαντικό ρόλο στον ήχο της. Παρόλα αυτά το σώμα της κιθάρας, δεν συμπεριφέρεται καθαρά σαν σώμα Helmholtz. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι τα ίδια τα τοιχώματα της κιθάρας ταλαντώνονται, και δεν μένουν σταθερά Επίσης, το σχήμα και η κατασκευή της κιθάρας είναι τέτοια που δύσκολα θα μπορέσει κανείς να υπολογίσει με ακρίβεια το φαινόμενο αυτό. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν ισχύει αυτό το φαινόμενο. Απλά με τους παραπάνω τύπους, δίνεται το αποτέλεσμα με ένα σχετικό σφάλμα.
Ποιο είναι το αποτέλεσμα της παραπάνω αντήχησης; Το αποτέλεσμα είναι να ενισχύονται ιδιαίτερα χαμηλές «μπάσες» συχνότητες, και να έχουμε έναν πιο ογκώδη ήχο. Η συχνότητα στην οποία συντονίζεται - κατασκευάζεται το σώμα μιας κλασσικής κιθάρας είναι η G#2 (103.826 Hz).

11) Βασικά στοιχεία ταλάντωσης του σώματος της κιθάρας

Το σώμα υπάρχει για να αναμεταδίδει της δόνηση της χορδής από τη γέφυρα της κιθάρας, σε ήχο γύρω από τη κιθάρα. Για να γίνει αυτό , μια από τις απαραίτητες ιδιότητες του σώματος της κιθάρας είναι η μεγάλη επιφάνεια. Το καπάκι της κιθάρας είναι φτιαγμένο, έτσι ώστε να ταλαντώνεται πάνω-κάτω. Τα υπόλοιπα ξύλα της κιθάρας δεν έχουν σημαντικό ρόλο στην διάδοση του ήχου τόσο ως ταλαντωτές, απλά χρησιμεύουν στο να είναι κλειστό το σώμα της κιθάρας. Το σημαντικότερο μέρος του σώματος της κιθάρας είναι το καπάκι, η μπροστινή πλευρά της κιθάρας.

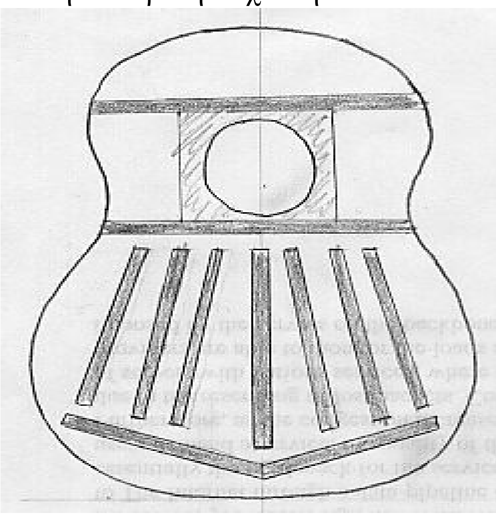
12) Το καπάκι της κιθάρας.

Το καπάκι της κιθάρας είναι το πλέον βασικό στοιχείο μιας καλής κιθάρας. 2 είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του όσον αφορά την κατασκευή του:

1. Δομή κατασκευής
2. Υλικό κατασκευής

Αυτοί οι 2 όροι συχνά «αλληλοσυγκρούονται» στην προσπάθεια να κατασκευαστεί ένα καλό καπάκι κιθάρας καθώς πρέπει να έχει 2 βασικές ιδιότητες:

Αντοχή στη τάση των χορδών
Καλή απόκριση συχνοτήτων



Ξύλα που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στη κατασκευή καπακιών είναι έλατο, και πεύκο, όπως επίσης και το μαόνι, ξύλα που επιλέγονται κυρίως για τις συχνότητες που αποδίδουν. Γνωστό ξύλο, είναι επίσης το ξύλο τριανταφυλλιάς και οι διάφορες ποικιλίες του. Παρόλα αυτά όμως το ξύλο απαιτεί ενίσχυση.

Η ενίσχυση στο καπάκι της κλασσικής κιθάρας γίνεται με τη προσθήκη ράβδων στήριξης, παράλληλα με το καπάκι: π.χ.

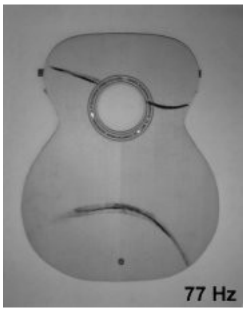
Αυτό είναι ένα πρόχειρο σκίτσο σχετικά με τις προσθήκες που γίνονται στο καπάκι της κιθάρας.

Όμως όπως προαναφέραμε , το καπάκι της κιθάρας είναι αυτό το οποίο δέχεται τις δονήσεις της χορδής και με τη σειρά του ταλαντώνεται. Όμως αυτό που δεν είχε παρατηρηθεί, ήταν ότι η ταλάντωση του καπακιού παρουσιάζει μεγάλη εξάρτηση από τη συχνότητα . Αυτό σα φαινόμενο δεν είναι τόσο παράδοξο, καθώς το καπάκι είναι ιδιαίτερα σύνθετο σώμα εξαιτίας της οπής , του σχήματος, και του τρόπου, με τον οποίο είναι στερεωμένο στο υπόλοιπο σώμα.

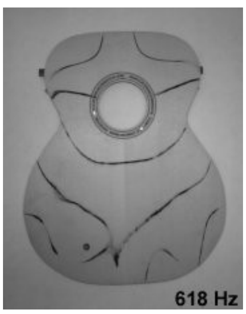
Η εξάρτηση που προαναφέραμε έχει να κάνει με τη συχνότητα ταλάντωσης του καπακιού , και παρατηρείται ως εξής: Το καπάκι, όταν ταλαντώνεται έχει περιοχές που «ανεβαίνουν» και περιοχές που «κατεβαίνουν» . Ανάμεσα από αυτές τις περιοχές υπάρχουν κάποιες περιοχές, ή πιο σωστά γραμμές που μένουν ακίνητες.(Γραμμές δεσμών είναι ο πιο σαφής ορισμός.). Αυτές οι γραμμές είναι γνωστές ως «Μοτίβα Chaldi» (Chaldi Patterns).

13) Γραμμές Chaldi

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ιαπωνικό Γκονγκ, το οποίο κρέμεται από 2 σκοινιά. Αν το χτυπήσουμε, τότε αυτό θα αρχίσει να ταλαντώνεται, χωρίς να στηρίζεται πουθενά. Η ταλάντωση που κάνει είναι τέτοια που δεν μετακινεί ολόκληρο το δίσκο. Τη στιγμή που κάποια μέρη του κινούνται προς τη φορά που θεωρούμε εμείς θετική, άλλα μέρη του κινούνται προς την αντίθετη, Αφού ο δίσκος είναι ένα συνεχές υλικό, θεωρούμε ότι υπάρχουν κάποια μέρη του τα οποία δεν κινούνται καθόλου. Σε μονοδιάστατα αντικείμενα πρόκειται για σημεία, ενώ σε δυσδιάστατα για γραμμές. Το καπάκι της κιθάρας , έχοντας ιδιαίτερα σύνθετη μορφή, παρουσιάζει μια πολυπλοκότητα στις γραμμές αυτές.



Όσο η συχνότητα αυξάνει, τόσο μεγαλώνει και η πολυπλοκότητα στις γραμμές αυτές.



Και μόνο η ελαφριά έλλειψη συμμετρίας που παρουσιάζεται σε αυτές τις εικόνες, αποτελεί απόδειξη, για τη πολυπλοκότητα του τρόπου με το οποίο σχηματίζονται αυτές οι γραμμές.

14) Χρησιμότητα Γραμμών Chaldi.

Η βασική τους χρήση αφορά την οργανοποιία. Γνωρίζοντας τα παραπάνω μοτίβα ταλάντωσης , ο οργανοποιός είναι σε θέση να «κουρδίσει» το καπάκι όπως αυτός θέλει με τη προσθήκη των ράβδων που προαναφέραμε.

15) Επίλογος

Η φυσική των εγχόρδων είναι μια πλευρά της φυσικής η οποία γνωρίζει, τώρα πια ,μεγαλύτερη εξέλιξη στην τεχνολογική πλευρά της. Επιστήμες όμως , όπως η φυσική , η χημεία, μπορούν να μας επιτρέψουν να μελετήσουμε εις βάθος, όργανα μεγάλων κατασκευαστών του παρελθόντος, και να φέρουμε στην επιφάνεια ένα-ένα τα μυστικά τους. Έτσι, με συνδυάζοντας το παλιό με το καινούργιο, θα είμαστε σε θέση να κατασκευάσουμε τα αριστουργήματα του παρελθόντος, δίνοντας τους παράλληλα, την ποιότητα του σήμερα.