

# Δομή της τονικότητας στην μουσική

## Προσπάθεια δημιουργίας ενός συστήματος αναφοράς ως μνημονικό κανόνα

jimishol

### Περίληψη

Σε μια προσπάθεια, λόγω περιέργειας, στοιχειώδους κατανόησης της μουσικής αρμονίας, χωρίς προτέρα ιδιαίτερη γνώση, διάβασα το Open Music Theory, που φαίνεται όμοιο με το Integrated Musicianship: Theory, και δύο βιβλία του Arnold Schoenberg, το THEORY OF HARMONY και το Structural Functions Of Harmony. Τα βιβλία του Schoenberg επηρέασαν ιδιαίτερα την οπτική μου.

Γνωρίζω αρκετά μαθηματικά ώστε να διακρίνω την τέχνη πίσω από αυτά (χρειάστηκα πέντε έτη για να διακρίνω την τέχνη πίσω από την γενική θεωρία της σχετικότητας) αλλά δεν γνωρίζω αρκετή μουσική ώστε να διακρίνω τα μαθηματικά πίσω από αυτήν. Λογικά όμως, δεν μπορεί να υπάρξει η μαθηματική συνέπεια στην τέχνη.

Με τα μαθηματικά οδηγούμαστε με συνέπεια σε συγκεκριμένα αποτελέσματα, οπότε η τέχνη έγκειται στην ελευθερία επιλογής του τρόπου με τον οποίο φθάνουμε σε αυτά. Στην τέχνη όμως η ελευθερία επιλογής αποτελέσματος οδηγεί στο ότι κάθε κανόνας ή απαγόρευση μπορεί να παραβιασθεί, αρκεί η παράβαση να μην συμβαίνει κατά τύχη. Η κάθε παράβαση οφείλει να αιτιολογείται από κάποια δομή που είναι δημιουργήμα της αυθαίρετης επιλογής του καλλιτέχνη. Για να δημιουργηθεί όμως η όποια αυθαίρετη δομή, που αιτιολογεί την όποια παράβαση, χρειάζεται κάποιο σύστημα αναφοράς στο οποίο τους άξονες θα αναφέρεται. Όπως σε κάθε τι στο σύμπαν, τα μαθηματικά θα ενυπάρχουν σε αυτό το σύστημα αναφοράς, όμως η εύρεση ενός συστήματος αναφοράς με μαθηματική συνέπεια και πληρότητα είναι πέρα από τις δυνάμεις, τις λιγοστές γνώσεις και τις ικανότητές μου. Συνεπώς, σημειώνω τις σκέψεις μου αλλά δεν μπορεί να αναμένεται επιστημονική συνέπεια και πληρότητα σε αυτές.

Η χρήση μαθηματικών και φυσικών εννοιών (όπως φράκταλ, θεωρία κατηγοριών, θεωρία ομάδων, δυϊκοί χώροι, ενέργεια, βαρύτητα, ροή κ.α.) αποσκοπεί σε μια προσπάθεια δημιουργίας ενός συστήματος αναφοράς, ως μνημονικό κανόνα, με όσο μου είναι δυνατόν μεγαλύτερη συνέπεια, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι εξαιρέσεις που πρέπει να απομνημονευθούν, και πληρότητα, ώστε να σχετίζεται με όσο περισσότερο υλικό εξ όσων έχω διαβάσει.

Το παρόν δεν είναι κατάλληλο για όποιον θέλει να διδαχθεί αρμονία. Υπάρχει ο κίνδυνος μια ενδεχομένως στρεβλή και ελλιπής οπτική να θεωρηθεί ορθή ή πλήρης. Αντιθέτως, ένας ήδη γνώστης της αρμονίας μπορεί να κερδίσει από μια νέα οπτική, ακόμα και μέσω της απόδειξής του ότι αυτή η οπτική είναι λανθασμένη ή ελλιπής.

Ανυπαρξία

# 1 Γεννηθήτω ο χρόνος

Ο χρόνος επιτρέπει την ύπαρξη στιγμών δημιουργίας. Χωρίς την ύπαρξη χρονικών στιγμών δεν μπορεί να υπάρξει στιγμή δημιουργίας. Επιβάλλει δε το τέλος αυτών των στιγμών και την ανυπαρξία μεταξύ αυτών των στιγμών, αλλιώς η μεταβολή της ύπαρξης θα ισοδυναμούσε με ανυπαρξία. Ο χρόνος είναι συνυφασμένος με την έννοια της μεταβολής. Διαδοχή γέννησης - θανάτου, ύπαρξης - ανυπαρξίας, bit - zero, κτύπου - ησυχίας. Χωρίς την βοήθεια εξωσυμπαντικού, υπερχρονικού παρατηρητή, δεν μπορώ, μόνον μέσα από το ίδιο το σύμπαν, να ξεχωρίσω αν ο χρόνος πραγματώνεται, ή γίνεται αντιληπτός, μέσω των μεταβολών ή αν οι μεταβολές πραγματώνονται, ή γίνονται αντιληπτές, μέσω του χρόνου. Πιστεύω πως ο χρόνος είναι το ουσιαστικότερο ίσως συστατικό του σύμπαντος και δεν υπάρχει ανεξάρτητος έξω από αυτό.<sup>1</sup>

Κάθε γέννηση προϋποθέτει την ύπαρξη του χρόνου και αναφέρεται σε κάποια χρονική στιγμή, όποτε αυτή συνέβη. Η γέννηση του χρόνου είναι παραδοξότητα λόγω αυτής ακριβώς της κρυφής αυτοαναφοράς του χρόνου στον ευατό του.

**Ο χρόνος του σύμπαντος** δεν μπορεί να καθορίσει τον ευατό του και να ισχυριστεί “τότε γεννήθηκα”. Δεν μπορεί να ορίσει το Big Bang με τρόπο που να καθορίζει στιγμές του χρόνου πριν από αυτό.

Αυτό που με εντυπωσίασε στην γενική θεωρία της σχετικότητας δεν είναι ότι ο χρόνος είναι σχετικός με τον εκάστοτε παρατηρητή, ούτε ότι συνυπάρχει με τον χώρο ως χωρόχρονος, ούτε ίσως ότι μέσα στις μαύρες τρύπες ο χρόνος, παρά το χρονικό βέλος που τον διαφοροποιεί από τις χωρικές διαστάσεις, μετουσιώνεται σε χώρο και ο χώρος σε χρόνο. Με εντυπωσίασε ότι το πέρας του άπειρου χρόνου εμφανίζεται “χωρικά” στους ορίζοντες γεγονότων. Ένα θνητό πλάσμα, που κατευθύνεται σε μία μαύρη τρύπα, αποκτά κυριολεκτικά αθανασία σε σχέση με όποιον το παρατηρεί εκ του μακρόθεν και, όντας ζωντανό, πλησιάζει εσάει την μαύρη τρύπα. Ακούγεται παράξενο αλλά αν δεν σας ενδιαφέρει αν ο αγαπημένος σας, για τον ίδιο, σκοτωθεί στα επόμενα πέντε λεπτά του αλλά θέλετε, για εσάς, περιγραφικά να ζήσει τόσο πολύ όσο τρισεκατομμύρια χρόνια μετά τον θάνατό σας και κυριολεκτικά να ζει στην αιωνιότητα, σπρώξτε τον προς μια μαύρη τρύπα.

**Η μέτρηση του χρόνου** αφορά στις διακριτές στιγμές ύπαρξης. Η δομή του χρόνου, που επιτρέπει διακριτές στιγμές ύπαρξης, επιτρέπει την αντιστοίχιση στιγμών ύπαρξης σε ακεραίους αριθμούς άρα και την σύγκριση χρονικών διαστημάτων του μέσω του πλήθους αυτών. Το, μεταξύ των χρονικών στιγμών ύπαρξης, χρονικό διάστημα ανυπαρξίας, αν βιώνεται, βιώνεται υποκειμενικά από τον εκάστοτε παρατηρητή του και δεν μπορεί να μετρηθεί αντικειμενικά χωρίς το σφάλμα της αυτοαναφοράς στον ίδιο τον χρόνο<sup>2</sup>. Έτσι, ορίζουμε ότι δύο χρονικά διαστή-

<sup>1</sup> Αν ρωτούσατε έναν κβαντικό φυσικό για την φύση του χρόνου στον μικρόκοσμο θα απαντούσε ότι ο χρόνος είναι απόλυτος και υπάρχει ανεξάρτητα του σύμπαντος. Δεν ασχολήθηκα όμως με κβαντική φυσική ούτε φιλοδοξώ να λύσω τις αντιθέσεις των δύο θεωριών. Απλά βρίσκω αρκετά διασκεδαστικό να μπλέκω την θεωρία της σχετικότητας μέσα σε σημειώσεις για την μουσική αρμονία.

<sup>2</sup> Το ίδιο σφάλμα αυτοαναφοράς συμβαίνει και με τη μέτρηση του χώρου. Εξ ου, η θεωρία της σχετικότητας, χωρίς το αξίωμα του απόλυτου χώρου και χρόνου, εξετάζει συμβάντα στον χωρόχρονο.

ματα είναι ίσα όταν κατά την διάρκειά τους συμβαίνουν ίσες μεταβολές διαδοχικής ύπαρξης - ανυπαρξίας κάποιου ίδιου φαινομένου. Το 1967 ορίστηκε ότι ένα δευτερόλεπτο έχει ίση διάρκεια με αυτήν που έχουν 9.192.631.770 μεταβολές που αφορούν στο χημικό στοιχείο Caesium-133.

**Η διαδοχή συμβάντων** ανά ίσα χρονικά διαστήματα, επί της δομής του χρόνου, δεν εξαρτάται από την κλίμακα αυτών των χρονικών διαστημάτων. Η όποια δομή του χρόνου, που κάνει δυνατή την δημιουργία ίσων χρονικών διαστημάτων, του επιτρέπει να αυτοκαθορίζεται ως φράκταλ. Έχει την ιδιότητα της αυτοομοιότητας. Όσο και αν μεγεθύνουμε ή σμικρύνουμε ένα χρονικό διάστημα θα έχει την ίδια δομή, που θα επιτρέπει την δημιουργία ίσων χρονικών διαστημάτων εντός αυτού<sup>3</sup>. Τα συμβάντα ανά ίσα χρονικά διαστήματα ας τα ονομάσουμε *κτύπους*, με την έννοια των συμβάντων ενός μετρονόμου. Η ακολουθία συμβάντων μετράται με το αντίστροφο του χρονικού διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών κτύπων. Ένδειξη της στις παρτιτούρες είναι οι κτύποι ανά λεπτό (*BPM*).

**Η ομαδοποίηση** των διαδοχικών κτύπων ανά έναν, δύο, τρεις, τέσσερις κ.λ.π., εφοδιάζει την άπειρη ακολουθία κτύπων με σημαντικότερη δομή. Κάθε θέση σε μια τυπική ομάδα γίνεται αντιπρόσωπος *κλάσεων (συνόλων) κτύπων*. Με την ομαδοποίηση αναγνωρίζουμε ποιοι από τους κτύπους της φυσικής ακολουθίας είναι πρώτοι, ποιοι είναι δεύτεροι, τρίτοι, τέταρτοι κ.λ.π. εντός της κάθε ομάδας και έτσι μπορούμε να τους διαφοροποιήσουμε δημιουργικά, όπως συμβάντα με περισσότερη ένταση, με λιγότερη ένταση, με απουσία<sup>4</sup>, με διαφορετική διάρκεια ή χροιά και άλλα<sup>5</sup>. Ως παράδειγμα, ας υποθέσουμε τέσσερις κτύπους ( $a, a, a, a$ ). Αντιπροσωπεύουν την ομαδοποίηση της ακολουθίας ανά έναν κτύπο, δηλαδή αποτελούν μία μονομελή ομάδα που επαναλαμβάνεται ως  $([a], [a], [a], [a])$ . Ομαδοποίηση ανά δύο σημαίνει ότι μία διμελής ομάδα επαναλαμβάνονται διαδοχικά ως  $([a, c], [a, c])$ . Ομαδοποίηση ανά τρεις κτύπους σημαίνει ότι τριμελής ομάδα επαναλαμβάνεται κ.ο.κ. Τα *μέτρα* στις παρτιτούρες είναι δομή τέτοιων ομαδοποιήσεων. Με την ίδια λογική, μπορούμε να εφοδιάσουμε με παρόμοια δομή και τις διαδοχικές ομάδες, ομαδοποιώντας τις σε υπερομάδες. Ομαδοποίηση των διμελών ομάδων ανά δύο σημαίνει ότι διμελής ομάδα, που όμως τα μέλη της είναι διμελής ομάδες επίσης, επαναλαμβάνεται π.χ.  $([a, c], [b, c], [a, c], [b, c])$  που μπορεί να ιδωθεί ως ισοδύναμη με μία τετραμελή ομάδα  $[a, c, b, c]$  που επαναλαμβάνεται. Τα *υπερμέτρα* στις παρτιτούρες είναι δομή τέτοιων ομαδοποιήσεων. Το *μέτρο* είναι απλώς η βασική για τον συνθέτη, ομαδοποίηση της ακολουθίας.

<sup>3</sup>Το ίδιο ισχύει και για τους ρητούς αριθμούς. Οποιοδήποτε διάστημα μεταξύ δύο ρητών αριθμών μπορεί να χωριστεί σε ίσα διαστήματα μεταξύ ρητών αριθμών

<sup>4</sup>Η απουσία, ως συμβάν αντίθετο της παρουσίας, αντιστοιχεί σε *κτύπο*. Με αυτήν πετυχαίνουμε επανάληψη συμβάντων ανά άνισα χρονικά διαστήματα. Έστω ομάδα  $[a, a, x]$  με  $x$  να συμβολίζει την απουσία συμβάντος. Κατά την επανάληψη της ομάδας ο κτύπος  $a$  συμβαίνει κάθε φορά σε διαφορετικό χρονικό διάστημα απ' ότι συνέβη την προηγούμενη φορά.

<sup>5</sup>Αν δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των μελών μιας τυπικής ομάδας ομιλούμε για *εν δυνάμει* ομαδοποίηση ή ρυθμό.

**Ρυθμικότητα** είναι το ελάχιστο τμήμα της ακολουθίας που περικλείει ακέραια όλα τα είδη των τυπικών ομάδων των εν χρήση ομαδοποιήσεων. Μετράται με το πλήθος των κτύπων της. Χωρίς εν χρήση ομαδοποιήσεις δεν μπορεί να υπάρξει ρυθμικότητα, διότι αυτή ισούται με το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο του πλήθους των κτύπων της κάθε ομαδοποίησης που την υποστηρίζει. Χωρίς ομαδοποιήσεις δεν μπορεί να οριστεί ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο. Η ομαδοποίηση ανά έναν κτύπο υποστηρίζει κάθε ρυθμικότητα. Είναι δε ισοδύναμη με την εσαεί επανάληψη του ίδιου κτύπου ανά ίσα χρονικά διαστήματα.

**Ρυθμός** μιας ομαδοποίησης είναι ο λόγος του πλήθους των μελών της ρυθμικότητας που υποστηρίζει προς το πλήθος των μελών της τυπικής ομάδας της. Με διαφορετική διατύπωση, είναι το πόσες φορές χωράει η τυπική ομάδα της ομαδοποίησης στην ρυθμικότητα ή πόσο πιο συχνά εμφανίζεται, στην ακολουθία συμβάντων, η τυπική ομάδα της από αυτήν της ρυθμικότητας. Ο ρυθμός ομαδοποίησης της μεγαλύτερης δυνατής ομάδας, δηλαδή ο ρυθμός της ίδιας της ρυθμικότητας, είναι η μονάδα. Η χρονική υπογραφή είναι σύμβαση μάλλον ελλιπής στο να περιγράψει κάθε πιθανό ρυθμό (ομαδοποίηση) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ωστόσο, ο άνω αριθμός της υπογραφής είναι σαφής ως προς το πόσοι κτύποι μετρώνται σε κάθε μέτρο. Το μέτρο είναι απλώς η βασική για τον συνθέτη ομαδοποίηση και τίποτε δεν εμποδίζει σε μια υπογραφή,  $\frac{3}{4}$  για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθούν έξι όγδοα, όσοι οι κτύποι της ρυθμικότητας, αντί τριών τετάρτων, όπως θα ήταν αναμενόμενο. Σε κάθε ακολουθία ενυπάρχουν άπειρες ολο και μεγαλύτερες ρυθμικότητες. Οι μικρότεροι ρυθμοί αυτών, που αντιστοιχούν στις μονομελές ομάδες, έχουν όριο τον μηδενικό ρυθμό, όπου ένας κτύπος συμβαίνει άπαξ και δεν επαναλαμβάνεται.

**Η οικονομία** στην πληροφορία είναι ανάγκη και περιορισμός που επιβάλλεται από το πεπερασμένο του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η αντίληψή μας περιορίζεται στον συσχετισμό των πληροφοριών, όχι με βάση τα ακριβή δεδομένα αλλά, με απλά μοτίβα. Αν δούμε σε έναν πίνακα ζωγραφικής θάλασσα που καταλαμβάνει τμήμα του έργου με αναλογία  $2/3.236$ , δηλαδή της χρυσής τομής, θα την αντιληφθούμε ως να καταλαμβάνει τα  $2/3$  του κάδρου. Σε σχέση με πληθυσμούς, η οικονομία στην πληροφορία προκαλεί στην αντίληψή μας πρωτίστως την αναζήτηση της αναλογίας  $1/2$ , ως του πιο απλού μοτίβου<sup>6</sup>. Συνεπώς, δύο ρυθμοί ταυτίζονται όταν ο ένας είναι διπλάσιος του άλλου. Αλλά και οι υπερομάδες ταυτοποιούνται για τον ίδιο λόγο. Συνεπώς, όπου αναφέρονται “ρυθμοί”, συμπεριλαμβάνονται και της ίδιας της ρυθμικότητας, *ενοούνται κλάσεις ρυθμών*, με συνέπεια διαφορετικοί ρυθμοί να είναι αυτοί που ο λόγος τους δεν είναι δύναμη του 2. Η ανάγκη της αντίληψής μας για απλότητα εφοδιάζει το σύνολο των ρυθμών με *βαθμό εγγύτητας με την ρυθμικότητα* που υποστηρίζουν. Ένας ρυθμός είναι τόσο πιο κοντά στην ρυθμικότητα που υποστηρίζει όσο μικρότερος είναι ο μέγιστος μόνος αριθμός που τον διαιρεί. Παραδείγματος χάριν, ο ρυθμός 12 είναι πιο κοντά στην ρυθμικότητα 1 από τον

<sup>6</sup>Επιπλέον, συμβολίζοντας με  $a$  την παρουσία συμβάντος και  $x$  την απουσία του, επειδή σε κάθε ρυθμό ανά έναν κτύπο η παρουσία του κτύπου, εκ των πραγμάτων, εναλλάσσεται με την απουσία του, αυτός ο ρυθμός μπορεί να εκληφθεί ως ρυθμός  $[a, x]$  ανά δύο κτύπους που υποστηρίζει διπλάσια ρυθμικότητα, στην οποία όμως η ομαδοποίηση ανά έναν κτύπο δεν είναι εν χρήση.

ρυθμό 5, διότι το μέγιστο 3, που διαιρεί το 12, είναι μικρότερο του  $5^7$ . Επειδή, κάθε σύνολο ομαδοποιήσεων υποστηρίζει κάποια συγκεκριμένη ρυθμικότητα, η διαφοροποίηση των ρυθμικότητων μεταξύ τους εξαρτάται από τους, *εν χρήση, ρυθμούς που την υποστηρίζουν.*

**Μοναδικός ρυθμός** ή απλός ρυθμός στις συνθέσεις υπάρχει όταν, λόγω της ταυτοποίησης, συνηχούν μόνο ρυθμοί που ο λόγος τους, ανά δύο, είναι δύναμη του 2. Όπως, παραδείγματος χάριν, όταν σε χρονική υπογραφή  $\frac{4}{4}$  ακούγονται σε ένα μέτρο τέσσερις νότες του τετάρτου, δύο νότες μισής αξίας και μία ολόκληρη. Η ολόκληρη νότα αντιπροσωπεύει την ομαδοποίηση των κτύπων ανά  $(2^2)$  τέσσερις κτύπους, που συμπίπτει με αυτήν του μέτρου και της ρυθμικότητας, οι μισές νότες την ομαδοποίηση ανά  $(2^1)$  δύο και κάθε νότα τετάρτου την ομαδοποίηση ανά  $(2^0)$  έναν κτύπο. Το πλήθος κτύπων κάθε ομάδας είναι δύναμη του 2, άρα όλοι οι ρυθμοί, συμπεριλαμβανομένης και της ρυθμικότητας, ταυτοποιούνται αφού ανήκουν στην ίδια κλάση  $[1] = [2]$ . Δεν υπάρχει ανάγκη της έννοιας της ρυθμικότητας, αφού την συνήχηση των τριών ρυθμών την αντιλαμβανόμαστε ως μοναδική κλάση απλού ρυθμού.

**Συνήχηση ρυθμών** υπάρχει σε κάθε περίπτωση που οι συνθέσεις χρησιμοποιούν παραπάνω από μία κλάση ρυθμών. Ας υποθέσουμε ότι σε ένα μέτρο χρησιμοποιούνται μία παρεστιγμένη μισή νότα και δύο παρεστιγμένα τέταρτα. Προφανώς και οι δύο ρυθμοί ανήκουν στην κλάση  $[2]$  του απλού ρυθμού. Αν όμως προσθέσουμε την ανάπτυξη της παρεστιγμένης μισής νότας με χρήση τριών τετάρτων τότε αυτή η προσθήκη, που ανήκει στην κλάση ρυθμών  $[3]$ , συνηχεί με την κλάση  $[2]$  του απλού ρυθμού. Η συνήχηση δεν χρειάζεται δύο οι περισσότερους *εν χρήση* ρυθμούς. Η ομαδοποίηση είναι υπαρκτή μόνον όταν υπάρχει έστω μία διαφοροποίηση μεταξύ των μελών της τυπικής της ομάδας. Μια ομαδοποίηση με τυπική ομάδα την τριάδα  $[a, a, a]$  δεν είναι *εν χρήση* αλλά *εν δυνάμει* ομαδοποίηση, διότι δείχνει απλώς την επανάληψη του κτύπου  $a$ , άρα *εν χρήση* είναι η απλή κλάση ρυθμού  $[2]$ . Η ομαδοποίηση θα ήταν *εν χρήση* αν διαφοροποιούνταν έστω ένα μέλος της τυπικής ομάδας της, έστω  $[A, a, a]$  με ρυθμό κλάσης  $[3]$ . Δεν παύει όμως ο κτύπος  $A$  να συμβαίνει ανά ίσα χρονικά διαστήματα, άρα με ρυθμό κλάσης  $[2]$ . Σε αυτήν την περίπτωση ο απλός ρυθμός κλάσης  $[2]$  θα αναφέρεται ως *χαμένος* ή *κρυφός* ρυθμός. Αλλά και στην περίπτωση συνήχησης των  $[3]$  και  $[5]$  ρυθμών μία τυπική ομάδα  $[3] + [5] = [15]$  επαναλαμβάνεται, άρα επαναλαμβάνεται σε απλό ρυθμό. Έτσι, ο απλός ρυθμός κλάσης  $[2]$  πάντα υποστηρίζει κάθε ρυθμικότητα, είτε ως φανερός είτε ως κρυφός ρυθμός.

**Οι κλάσεις** ρυθμικότητων θα συμβολίζονται με το γινόμενο των μονών<sup>8</sup> αριθμών που αντιστοιχούν στους ρυθμούς που χρησιμοποιούνται. Η απλή ρυθμικότητα μοναδικού ρυθμού, που κρυφά ή φανερά είναι πάντα παρών, θα συμβολίζεται

<sup>7</sup>Πιθανολογώ ότι αν η αντίληψή μας ανιχνεύσει λόγο  $\frac{1}{3}$  θα αναμένει το ίδιο μοτίβο και σε ανώτερα ή κατώτερα επίπεδα ομαδοποίησης, οπότε θα υπάρχει ταυτοποίηση και ως προς αυτόν τον λόγο. Με αυτό το σκεπτικό θα υπάρχουν τόσες κλάσεις ρυθμών όσοι οι πρώτοι αριθμοί μεγαλύτεροι της μονάδας.

<sup>8</sup>Θα συμβολίζονται με το γινόμενο των πρώτων αριθμών, αν ταυτοποιούμε κάθε δύναμη πρώτου αριθμού με τον ίδιο.

ως κλάση [1] ή [2]. Εφόσον ο ρυθμός [2] είναι πάντα παρών, στις λοιπές ρυθμικότητες θα παραλείπεται το γινόμενο με το 2. Η επόμενη κλάση, κατά σειρά εγγύτητας με την απλή [2], είναι η [3]. Η επόμενη κλάση [5] αν χρησιμοποιείται είναι σπάνια. Δεν φαίνεται να έχουν πρακτική χρήση οι επόμενες θεωρητικές κλάσεις [7], [9], [11], [13], [15], [17], κλπ. Διευκρινιστικά, ως ρυθμικότητα κλάσης [15] εννοούμε την συνήχηση των ρυθμών [2] (ως κρυφή ή εν χρήση κλάση), [3] και [5].

**Αποδόμηση** ρυθμικότητας θεωρώ ότι είναι η μετάλλαξή της σε διαφορετικής κλάσης ρυθμικότητες που υποστηρίζονται από κοινούς με την ίδια ρυθμούς. Κάθε ρυθμικότητα υποστηρίζεται από όποιους ρυθμούς χρησιμοποιεί ο συνθέτης, όπως ένα σπίτι υποστηρίζεται από τις κολώνες του. Δεν μπορεί να χτιστεί στέρεη ρυθμικότητα - οικοδόμημα χωρίς να χρησιμοποιηθούν ρυθμοί - κολώνες της που να την υποστηρίζουν. Με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η εντροπία, άρα η φυσική φθορά της ρυθμικότητας - οικοδομήματος, απομένοντας, ως ερείπια, οι ρυθμοί - κολώνες που την στήριζαν. *Η υποστηρικτική σχέση δεν αντιστρέφεται.* Αν  $G$  είναι ρυθμός - κολώνα της ρυθμικότητας - οικοδομήματος  $C$ , τότε η τελευταία, ως ρυθμός κολώνα  $C$ , δεν μπορεί να υποστηρίξει την ρυθμικότητα - οικοδόμημα  $G$ . Αυτό ισχύει εν ολίγοις διότι αν η  $[G]$  είναι ρυθμός της  $[C]$  ισχύει  $[G] = \frac{[C]}{2^{*k+1}} \Rightarrow [C] = (2 * k + 1) * [G]$ , με  $k \neq 0$ ,  $[C] = 2^n * C$  και  $[G] = 2^m * G$ . Οπότε το  $[C]$  δεν έχει τη ζητούμενη μορφή  $[C] = \frac{[G]}{2^{*k+1}}$ , άρα δεν είναι ρυθμός της  $[G]$ .

**Πρόοδος ρυθμικότητας** είναι η αντικατάστασή της από άλλη διαφορετικής κλάσης ρυθμικότητα. Η ρυθμικότητα μιας σύνθεσης μπορεί να μείνει αμετάβλητη. Αν όμως υπάρχει η επιθυμία μεταβολής της, λαμβάνοντας υπόψη την προαναφερθείσα υποστηρικτική σχέση και την προσομοίωση του φαινομένου της εντροπίας, μπορούμε να διακρίνουμε την πρόοδο σε *παθητική* και *ενεργητική*.

**Παθητική πρόοδος** (ή *αδύνατη* ή *κατιούσα* πρόοδος) μιας ρυθμικότητας είναι η αποδόμησή της σε ρυθμικότητα που στηρίζεται σε γνήσιο υποσύνολο των ρυθμών που αρχικά την υποστήριζαν. Εκλαμβάνεται και ως παθητική αφαίρεση κάποιων από τους ρυθμούς της. Αν περιοριστούμε μόνον στις κλάσεις [2] και [3] των ρυθμικότητων, τότε η μόνη δυνατή παθητική μετάβαση είναι αυτή από την ρυθμικότητα  $[3] = [6] = [2] + [3]$  στην ρυθμικότητα μοναδικού ρυθμού που υποστηρίζεται από την συγκεκριμένη, κρυφή ή φανερή, κλάση [2] της αρχικής ρυθμικότητας.

**Ενεργητική πρόοδος** (ή *δυνατή* ή *ανούσα* πρόοδος) μιας ρυθμικότητας είναι η όποια *μη παθητική* πρόοδος της σε νέα διαφορετικής κλάσης ρυθμικότητα. Εκλαμβάνεται και ως ενεργητική προσθήκη κάποιων ρυθμών στους ήδη υπάρχοντες, διαφορετικής κλάσης, ρυθμούς που την υποστηρίζουν. Αν περιοριστούμε μόνον στις κλάσεις [2] και [3] των ρυθμικότητων, τότε η μόνη δυνατή ενεργητική μετάβαση είναι αυτή από την ρυθμικότητα [2] σε ρυθμικότητα που, εκτός της συγκεκριμένης κλάσης [2], υποστηρίζεται επιπλέον και από ρυθμό κλάσης [3] = [6] = [2] + [3].

Στο σχήμα 1(ήχος), παρά την χρονική υπογραφή, στο πρώτο μέτρο συνηχούν οι

ρυθμοί της μίας [1] παρεστιγμένης ολόκληρης νότας και των τεσσάρων [4] παρεστιγμένων τετάρτων, οπότε είναι εν χρήση η ρυθμικότητα  $[1] + [4] = [4]$ , του μοναδικού ρυθμού κλάσης [2] που υποστηρίζει την ίδιας κλάσης ρυθμικότητα. Από το πρώτο στο δεύτερο μέτρο συντελείται ενεργητική πρόοδος ρυθμικότητων. Στο δεύτερο μέτρο, με τις τρεις μισές νότες, προστίθεται ενεργητικά ρυθμός [3], που συνηχεί με τον ρυθμό [4], υποστηρίζοντας την ρυθμικότητα  $[4] + [3] = [12]$ , κλάσης [3]. Εξ αυτού, ο ρυθμός της παρεστιγμένης ολόκληρης νότας μεταβλήθηκε σε  $[\frac{12}{1}] = [12]$ , όσο και η υποστηριζόμενη ρυθμικότητα, αλλάζοντας την κλάση του σε [3]. Τα τέσσερα παρεστιγμένα τέταρτα επίσης αλλάζουν ρυθμό και κλάση σε  $[\frac{12}{4}] = [3]$ , όπως και οι τρεις μισές νότες, που ενώ εισήχθησαν για να υποστηριχθεί κλάση ρυθμικότητας [3], έχουν ρυθμό  $[\frac{12}{3}] = [4]$ . Ο μοναδιαίος ρυθμός  $[\frac{12}{12}] = [1]$  ανά έναν κτύπο, κλάσης [2], είναι κρυφός. Στο τρίτο μέτρο τόσο η ρυθμικότητα όσο



Σχήμα 1: Συνήχηση ρυθμών

και η κλάση της παραμένουν αμετάβλητες, αφού η προσθήκη του κρυφού ρυθμού ανά έναν κτύπο, δια των δώδεκα ογδών, δεν τις επηρεάζει. Κατά την επανάληψη, από το τρίτο μέτρο στο πρώτο, συντελείται παθητική πρόοδος ρυθμικότητων, διότι η ρυθμικότητα κλάσης [3] αποδομείται σε ρυθμικότητα κλάσης [2].

**Η αλγεβρική δομή** μονοειδούς φαίνεται να διακρίνεται στα προαναφερόμενα. Έστω  $S$  το σύνολο των τυπικών ομάδων των ομαδοποιήσεων. Κάθε στοιχείο του ταυτίζεται με την ρυθμικότητα και την τυπική ομάδα του ρυθμού που την υποστηρίζει. Εφοδιάζουμε αυτό το σύνολο με την δυαδική πράξη  $S \times S \rightarrow S$  της συνήχησης (σελίδα 6), που θα την συμβολίζουμε με  $+$ . Το αποτέλεσμα της είναι η τυπική ομάδα ομαδοποίησης με πλήθος μελών ίσο με το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο του πλήθους των μελών των δύο τυπικών ομάδων. Το ζεύγος  $(S, +)$  είναι *μονοειδές* διότι ικανοποιεί τα επόμενα δύο αξιώματα:

- Προσεταιριστικότητα: Για κάθε  $a, b$  και  $c$  που ανήκουν στο  $S$ , η σχέση  $(a + b) + c = a + (b + c)$  ισχύει.
- Ύπαρξη ουδέτερου στοιχείου: Υπάρχει ένα στοιχείο  $e$  στο  $S$ , αυτό της μονομελούς τυπικής ομάδας, που είναι τέτοιο ώστε για κάθε στοιχείο  $a$  στο  $S$ , ισχύουν οι ισότητες  $e + a = a$  και  $a + e = a$ .

Επειδή ισχύει η αντιμεταθετική ιδιότητα, όπου  $a + b = b + a$  για κάθε  $a, b \in S$ , το  $(S, +)$  είναι *αντιμεταθετικό* ή αλλιώς *αβελιανό μονοειδές*. Όπως κάθε αντιμεταθετικό μονοειδές, το  $(S, +)$ , δηλαδή το σύνολο των ρυθμών με τις συνηγήσεις του, είναι



εφοδιασμένο με την ασθενή διάταξη  $\leq$ , με την οποία ορίζεται ότι  $a \leq b$  αν υπάρχει  $c$  τέτοιο ώστε  $a + c = b$ .

**Η φράκταλ αυτο-ομοιότητα** της δομής του χρόνου προβάλλει την προαναφερόμενη δομή της ρυθμικότητας στην έννοια της δομής της τονικότητας. Σε ρυθμικότητα, ρυθμούς, συνηχήσεις και ακολουθίες κτύπων αναφερόμαστε όταν η συχνότητα των κτύπων είναι της τάξεως του ενός κτύπου ανά δευτερόλεπτο ( $1Hz$ ). Σε τονικότητα, τόνους, συγχορδίες και συχνότητες αντίστοιχα, αναφερόμαστε αν “απομακρυνθούμε”, περίπου 20 με 20000 φορές “μακρύτερα”, ώστε να αντιλαμβανόμαστε τα χρονικά διαστήματα μικρότερα και το  $1Hz$  να αντιστοιχεί πλέον σε ηχητικές συχνότητες. Αν μάλιστα λάβουμε υπόψη και την προαναφερθείσα δομή του μονοειδούς, τότε τόνοι και συγχορδίες είναι στοιχεία του ίδιου συνόλου και ίσως όχι τόσο διαφορετικά όσο νόμιζα.

## 2 Τονικότητα

### 2.1 Ο χώρος τόνων και τονικότητας

Το σύνολο των συχνοτήτων είναι μονοδιάστατος χώρος, δηλαδή είναι ισόμορφο με την ευθεία  $R$  των άρρητων αριθμών.

**Οι υποσυχνότητες  $f/n$  ενυπάρχουν πάντα στο άκουσμα της  $f$ .** Κάθε συχνότητα  $f$  αντιστοιχεί σε μία περίοδο κύματος που επαναλαμβάνεται με ρυθμό ίσο με την συχνότητά του. Κάθε ομάδα από  $n$  περιόδους κύματος επαναλαμβάνεται με συχνότητα  $f/n$  (το αντίθετο των αρμονικών  $nf$ ). Ως συχνότητα αντιλαμβανόμαστε την επανάληψη της ομάδας με την μικρότερη περίοδο, δηλαδή αυτή καθεαυτή την βασική συχνότητα. Θεωρώ όμως ότι όλες οι υποσυχνότητες  $f/n$  ενυπάρχουν πάντα στο άκουσμα της  $f$  και, συνειδητά ή υποσυνείδητα, ακούγονται συγχρόνως, σε αντίθεση με τις αρμονικές  $nf$  οι οποίες άλλοτε δημιουργούνται από τα μουσικά όργανα και άλλοτε όχι, εξαρτώμενες από το όργανο που παράγει την βασική συχνότητα  $f$ .

**Η νότες είναι κλάσεις συχνοτήτων.** Η σχέση μιας συχνότητας  $f$  με την υποσυχνότητά της  $f/2$  είναι τόσο ισχυρή ώστε να θεωρείται σχέση ισοδυναμίας και ονομαστικά οι δύο αυτές συχνότητες να ταυτίζονται, παρόλο που διαφέρουν κατά μία οκτάβα. Έτσι, με αναφορά σε κάποια συγκεκριμένη συχνότητα, έστω  $A = 440Hz$ , ταυτίζονται όλες οι συχνότητες με σχέση ακέραιας δύναμης του 2, δηλαδή όλες οι  $A * 2^{\pm n}$ . Δημιουργείται έτσι μία κλάση ισοδυναμίας  $[A]$  και όταν αναφερόμαστε σε κάποια νότα, έστω  $A$ , αναφερόμαστε σε μία κλάση συχνοτήτων  $[A]$  που είναι το σύνολο των συχνοτήτων  $A * 2^{\pm n}$ . Στις μουσικές αναλύσεις χρησιμοποιούνται οι νότες  $[A]$  ως κλάσεις ενώ στις παρτιτούρες σημειώνονται οι τόνοι  $A$  ως συχνότητες.

**Η σαμπρέλα τόνων και τονικότητας** Η ταύτιση των άκρων του διαστήματος των συχνοτήτων  $[f, 2f]$  χρειάζεται μία ακόμα διάσταση για να οπτικοποιηθεί ως κύκλος, χρειάζεται δηλαδή δισδιάστατο χώρο ώστε να καμφθεί μέσα σ’ αυτόν η

ευθεία των συχνοτήτων. Με αναφορά σε συχνότητα  $f$ , κάθε κλάση συχνοτήτων  $[g]$  αντιστοιχεί μονοσήμαντα σε κάποια συχνότητα  $g$  εντός του διαστήματος  $[f, 2 * f)$ , δηλαδή αντιπροσωπεύεται, ως νότα  $[g]$ , από κάποιο μοναδικό σημείο του οπτικοποιημένου κύκλου. Όλες οι δυνατές νότες  $[g]$ , που αντιστοιχούν σε κύκλο, μπορεί εν αρχή να θεωρηθεί ότι αναφέρονται, άρα συσχετίζονται, με κάποια συχνότητα  $f$ , άρα με κάποια κλάση  $[f]$ . Εφόσον το σύνολο των  $[f]$  είναι και αυτό κύκλος, ως ονομασθεί κύκλος τονικότητων και κάθε σημείο του  $[f]$  *τονικότητα*. Από κάθε τονικότητα διέρχεται ένας κύκλος με όλες τις δυνατές νότες. Χρειαζόμαστε ακόμα μία διάσταση ώστε να οπτικοποιήσουμε τον κύκλο των τονικότητων σε διαφορετικό χώρο από αυτόν με όλες τις δυνατές νότες. Έτσι, σε τρισδιάστατο χώρο, όλες οι δυνατές νότες, επί καθενός σημείου του κύκλου των τονικότητων, είναι επιφάνεια μιας σαμπρέλας όπως εδώ. Η σαμπρέλα είναι ο χώρος που υπάρχουν οι νότες και οι τονικότητες. Κάθε φορά που προσδιορίζεται η σχέση τονικότητας με νότες επιλέγεται ένα υποσύνολο από τις νότες του κάθε κύκλου, που δεν παύει όμως να ανήκει στην επιφάνεια της σαμπρέλας που περικλείει το όλον.

**Η δυϊκότητα τόνων και τονικότητας** είναι εκ των παραπάνω εύλογη, εφόσον δεν γίνεται διάκριση μεταξύ ματζόρε και μινόρε κλιμάκων ή, όπως προσωπικά θεωρώ, με τον προαναφερόμενο όρο *τονικότητα* εννοούμε μόνον τις ματζόρε κλίμακες. Μπορούμε δηλαδή να θεωρήσουμε ότι η επιφάνεια της σαμπρέλας δημιουργείται είτε από το σύνολο των κύκλων από νότες, κάθε τονικότητας  $[f]$ , είτε από το σύνολο των κύκλων των τονικότητων, στις οποίες ανήκει κάθε νότα  $[g]$ . Με άλλα λόγια, η ερώτηση ποιές νότες εμπεριέχονται σε μια τονικότητα  $[f]$  εκφράζεται, στην δυϊκή οπτική της, με την ερώτηση ποιές τονικότητες εμπεριέχουν κάποια νότα  $[g]$ .

**Η δισδιάστατη επιφάνεια στον τριδιάστατο χώρο** εξυπηρετεί λόγω της προφανούς ταυτοποίησης των υπάρξεων της ίδιας νότας πάνω στην επιφάνεια της σαμπρέλας (ή ταυτοποίησης των υπάρξεων της ίδιας τονικότητας από την δυϊκή οπτική). Εφόσον το σύνολο από νότες είναι ίδιο σε κάθε τονικότητα, η ταύτιση εννοείται μέσω μονοπατιού στον τρισδιάστατο χώρο που δεν τέμνει την ίδια την επιφάνεια. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε ένα σύνολο τόνων που εναλλάσσονται στον χρόνο, δηλαδή μια μελωδία, στην τονικότητα  $[C]$  που είναι μία τομή κάθετα της σαμπρέλας. Αν κάθε τόνος εμφανίζεται ως τελεία επί της επιφάνειας της σαμπρέλας, τότε κατά την εκτέλεση της μελωδίας η τελεία θα μετακινείται από σημείο σε σημείο πάντα επί του κύκλου που είναι η τομή της σαμπρέλας στην τονικότητα  $[C]$ . Όμως, κάνοντας χρήση του τρισδιάστατου χώρου, κάποια στιγμή που η τελεία βρίσκεται έστω στον τόνο  $[A]$ , επί του κύκλου της τονικότητας  $[C]$ , βγαίνει εκτός επιφάνειας, εντός ή εκτός του όγκου της σαμπρέλας, και μεταπηδά ξανά στην επιφάνειά της στον κύκλο της τονικότητας  $[F]$  και συνεχίζει επ' αυτού. Η ταυτοποίηση των τόνων  $[A]$  των δύο τονικότητων και η τρίτη διάσταση έκανε δυνατή την αλλαγή τονικότητας κατά τη διάρκεια της μελωδίας από  $[C]$  σε  $[F]$ . Ένα δισδιάστατο πλάσμα που ο κόσμος του είναι η επιφάνεια της σαμπρέλας δεν μπορεί να κατανοήσει πώς συμβαίνει αυτή η ξαφνική μεταπήδηση χωρίς να ακολουθηθεί οποιοδήποτε μονοπάτι του κόσμου του.

## 2.2 Οι νότες κλίμακας

**Φυσικές νότες κλίμακας.** Σε κάθε κλίμακα πρέπει να ανήκουν τουλάχιστον κάποιες νότες στις οποίες, κατά την παραδοχή της πρώτης παραγράφου 2.1, ενυπάρχει ο βασικός τόνος της και τις ονομάσουμε φυσικές νότες της κλίμακας. Έτσι, αν  $g$  είναι τόνος φυσικής νότας και  $c$  ο βασικός τόνος της τονικότητας, θα ισχύει  $c = g/n \Rightarrow g = n * c \Rightarrow [g] = n * 2^{\pm k}$ , όπου  $[c] = 1$  και  $1 \leq [g] < 2$ . Λόγω της τελευταίας ανισότητας, είναι πιο περιγραφικό αν επαναδιατυπώσουμε ως  $1 \leq [g] = \frac{n}{2^k} < 2$ , με  $n, k > 0$ . Το  $k$  προσδιορίζεται μονοσήμαντα από το  $n$ . Το τελευταίο, λόγω του προσδιορισμού των τόνων στις φυσικές νότες, είναι πάντα μονός αριθμός. Κατ' ουσίαν ονομάσαμε φυσικές νότες αυτές που αντιστοιχούν στις αρμονικές της όποιας συχνότητας του βασικού τόνου της τονικότητας. Αναφερόμενοι στη νότα της τονικότητας ως μονάδα και στις φυσικές νότες της ως λόγους, οι φυσικές νότες μιας κλίμακας θα μπορούσε να είναι οποιοδήποτε υποσύνολο της ακολουθίας  $(1, 3/2, 5/4, 7/4, 9/8, 11/8, \dots)$ .

*Το αντίστροφο του μεγέθους του  $n$  αντιστοιχεί στο πόσο φυσικό μπορεί να εκληφθεί ότι σε μια φυσική νότα ενυπάρχει ο βασικός τόνος της τονικότητας. Το δε  $k$  αντιστοιχεί στο πόσες οκτάβες κάτω από το άκουσμα μιας φυσικής νότας βρίσκεται ο υψηλότερος βασικός τόνος.*

**Η έννοια της φυσικής νότας είναι μεταβατική.** Εφόσον ο βασικός τόνος της τονικότητας ενυπάρχει σε φυσική νότα, σε κάθε φυσική νότα της φυσικής νότας θα ενυπάρχει ο αρχικός βασικός τόνος της τονικότητας. Πράγματι αν  $[g] = \frac{n}{2^k} * [c]$  είναι φυσική νότα της  $[C]$  και  $[h] = \frac{m}{2^l} * [g]$  είναι φυσική νότα της  $[G]$  τότε η  $[h] = \frac{n*m}{2^{k+l}} * [c]$  θα είναι φυσική νότα και της  $[C]$  επίσης. Απλά, λόγω των μεγαλύτερων συντελεστών  $k$  και  $n * m$ , για την νότα  $[h]$  θα φαντάζει πιο φυσική η τονικότητα  $[G]$  από την  $[C]$ .

**Η φυσική μετάβαση και η εντροπία** ως φαινόμενα λογικά υπάρχουν σε κάθε μελωδία όπως και σε κάθε τι που υπάρχει.

**Περιορισμός στις φυσικές νότες** θα πρέπει να υπάρξει λόγω του άπειρου αριθμού των αρμονικών. Με το  $n$  να αυξάνει, σε μία τονικότητα μπορούν να ενταχθούν άπειρες φυσικές νότες οπότε σε μια “οκτάβα” θα υπάρχουν απείρως πυκνές νότες.

- στις πολύ κοντινές συχνότητες ο εγκέφαλος θα επιλέξει το μοτίβο με την πιο απλή αναλογία και όχι την ακριβή ρητή τοιαύτη.
- δεν ακούγονται οι μακρινοί βασικοί τόνοι

waveform generator

**Κάτω φράγμα ενυπάρχοντων τόνων** πρέπει να θεωρηθεί περίπου η συχνότητα  $20\text{Hz}$ . Αν θεωρήσουμε ότι δεν είναι δυνατόν ένας τόνος να συνδεθεί υποσυνείδητα με τόνο εκτός ακουστικής εμπειρίας, δηλαδή με συχνότητες κάτω

των  $20\text{Hz}$ , και ότι η μέση συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι τα  $440\text{Hz}$  τότε ο συντελεστής  $n$  των ενυπάρχοντων τόνων  $g/n \geq 20\text{Hz}$  πρέπει να είναι ακέραιος μικρότερος του  $440/20 = 22$  ή και περισσότερο. Με αυτήν την παραδοχή οι νότες μιας τονικότητας από άπειρες όλων των ρητών λόγων περιορίζονται σε πεπερασμένες. Με την τιμή 22 όμως, παρά το γεγονός ότι οι δυνατές νότες μιας οκτάβας είναι πεπερασμένες, υπολογίζονται σε 75 νότες που είναι πολλές.

### 3 Σημειώσεις για μελλοντική ανάπτυξη

Φρακταλ = μεγένθυση ή σμίκρυνση αποκαλύπτει την ίδια δομή. Ρυθμός ανα δευτερόλεπτο σε μεγένθυση γίνεται συχνότητα σε  $\text{Hz}$ . Λόγω ρυθμού μετράμε 1-2-3-4 άρα από τους υπορρυθμούς ορίζονται ακέραια πολλαπλάσια ρυθμών άρα και συχνοτήτων. Είναι παράγωγα πρώτων αριθμών.

Ευκολα θεωρείται η  $C6/4$  σαν  $C$  όταν το μπασσο  $G$  είναι  $G4$ , δυσκολα όταν είναι  $G0$ . Στην τελευταία περίπτωση μάλλον καθορίζει διαφωνη συγχορδια  $G$  που πρέπει να διορθωθεί με την μεταβαση  $C6/4-G$  Σαν να ήθελα απο  $G$  σε  $C$  αλλά το μετάνιωσα και γύρισα πίσω στο  $G$ . Σε αντίθεση, με  $G-E$  σαν να εφτασα στα μισα για  $C$  αλλά δεν ολοκλήρωσα γιατί όλες οι φωνες φτάσανε στον προορισμό τους εκτος της  $B$  που δεν εφτασε στο  $C$ .

Τονικοτητα=σαν να δημιουργεις το σπιτι που ζεις. Αν αφησεις την φυσική εξέλιξη με  $3/2$  ή  $5/4$  η εντροπια το καταστρεφει χρειαζεσαι ενεργή επισκευη με μια πτωση  $4/3$  για μεινει το ιδιο σπιτι=τονικοτητα. Αν θελεις να αλλαξεις μεταρρυθμιση ασε την εντροπια με παθητικες μεταβασεις I-III ή I-V ή υποβοηθησε την με I-VII αλλιως υπερτονισε τις ενεργες μεταβασεις I-II, I-IV και I-VI.