

# Κλίμακες και Κουρδίσματα

Κώστας Μόσχος

Κύκλος Διαλέξεων Μουσικής Ακουστικής ΙΕΜΑ

9/2/2011

# Ορολογία 1

- **Κλίμακα** (scale)
  - Καθορισμένη διαδοχή φθόγγων στο πλαίσιο ενός μουσικού συστήματος
- **Κούρδισμα** (tuning, intonation)
  - Καθορισμός του τονικού ύψους κάθε φθόγγου μιας κλίμακας
  - *(κατ' επέκταση: η ρύθμιση του τονικού ύψους στα μουσικά όργανα)*

# Ορολογία 2

- **Τετράχορδο** (tetrachord)
  - Η βηματική διαδοχή τεσσάρων φθόγγων
- **Τρόπος** («αρμονία», ήχος, modus, maqam)
  - Καθορισμένη διαδοχή φθόγγων (συνδυασμός δύο τετραχόρδων) *αλλά και τυποποιημένων φράσεων που διαμορφώνουν ένα μουσικό ύφος*
- **Γένος** (genus) *αρχ. Ελλάδα*
  - Καθορισμός των διαστημάτων στη διαδοχή φθόγγων σε ένα τετράχορδο

# Ορολογία 2

- **Φθόγγος** ήχος με αναγνωρίσιμο τονικό ύψος  
(«καλούνται δε αι τάσεις και φθόγγοι. Τάσεις μεν παρά το τετάσθαι, φθόγγοι επειὶ υπό φωνῆς ενεργούνται» Κλεονίδης)
- **Διάστημα** (interval)
  - Η τονική απόσταση 2 φθόγγων μεταξύ τους
  - («Διάστημα εστί το υπό δύο φθόγγων ωρισμένον, μη την αυτήν τάσιν έχόντων» Αριστόξενος)
- **Intonation** (τονική προσαρμογή)
  - Η εφαρμογή των κουρδισμάτων στην πράξη

# Μέτρηση διαστημάτων

- **Λόγος συχνοτήτων** *Πυθαγόρας 6<sup>ος</sup> αι. π.Χ.*  
(π.χ.  $400\text{Hz}:800\text{Hz} \Rightarrow 1:2 \Rightarrow$  οκτάβα, αλλά και  $1000\text{Hz}:2000\text{Hz} \Rightarrow 1:2 \Rightarrow$  οκτάβα)
- **Cents** λογαριθμική μονάδα ίση με το  $1/1200$  μιας οκτάβας (*Alexander J. Ellis - Hermann von Helmholtz's «On the Sensations of Tone» 19<sup>ος</sup> αι.*)  
(π.χ. οκτάβα 1200 cents, ημιτόνιο 100 cents, Πέμπτη=7ημιτόνια=700 cents)

# Πρόσθεση διαστημάτων

- **Cents:** Προσθέτουμε τα cents π.χ μια πέμπτη (700 cents) + μια τέταρτη (500 cents) = 1200 cents -> μια όγδοη
- **Λόγοι:** Πολλαπλασιάζουμε τους λόγους.  
Π.χ.  $\frac{2}{3} * \frac{3}{4} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$  -> όγδοη

# Ιστορία

- Πρώτο όργανο με τονικά στοιχεία (διατονικά): αυλός Neanderthal Σλοβενίας ~60.000 π.Χ (1999)



- <http://www.exploratorium.edu/aaas-2000/realmedia.files/flutes2.ram>

- Αυλοί Jiahu, Κίνα λίθινη αποχή 6.500 π.Χ





- Μεσοποταμία 2500 κατάλογος χορδών  
άρπας



MS 2340 Lexical list of harp strings, 23 types of musical instruments. Sumer, 26th c. BC.  
The earliest record of music and instruments in history

# Μεσοποταμία 1800 1<sup>η</sup> παρτιτούρα



MS 5105

Old Babylonian cuneiform musical notation. Babylonia, 2000-1700 BC

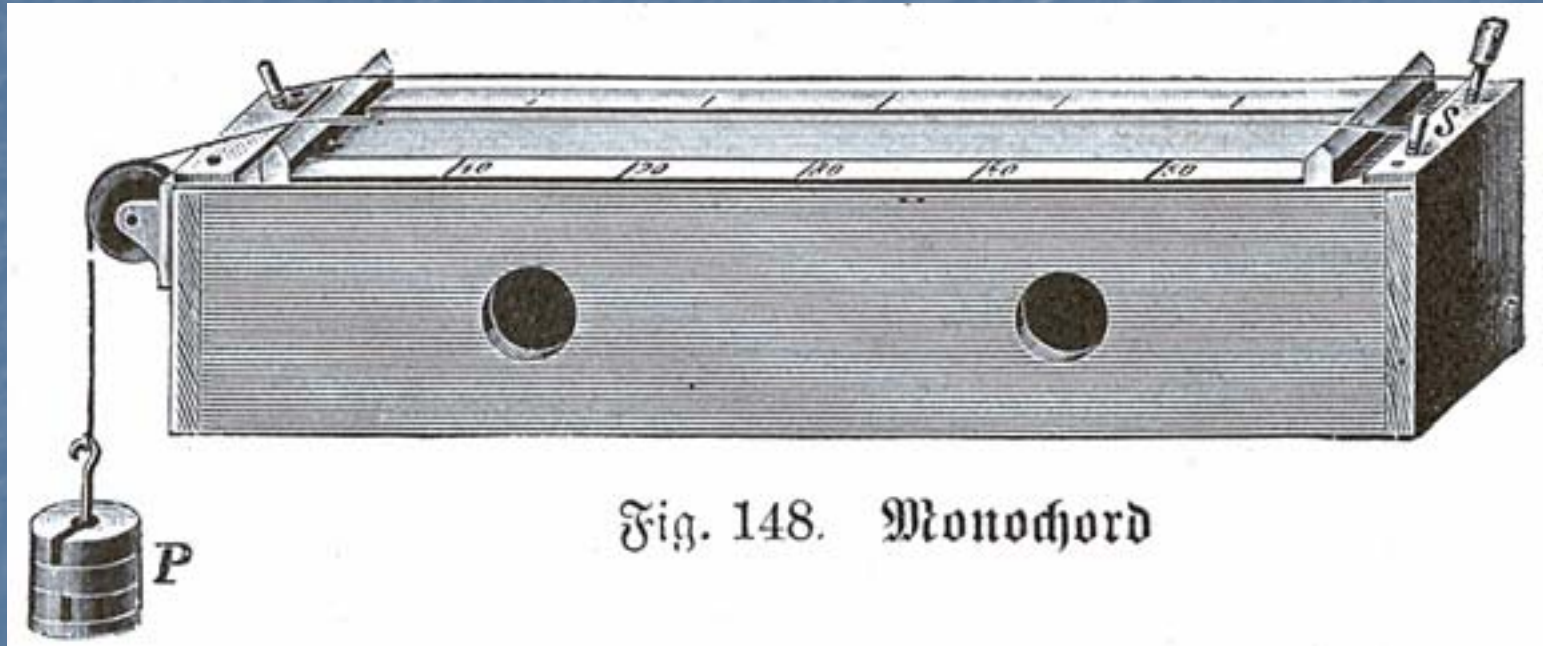


And in modern transcription

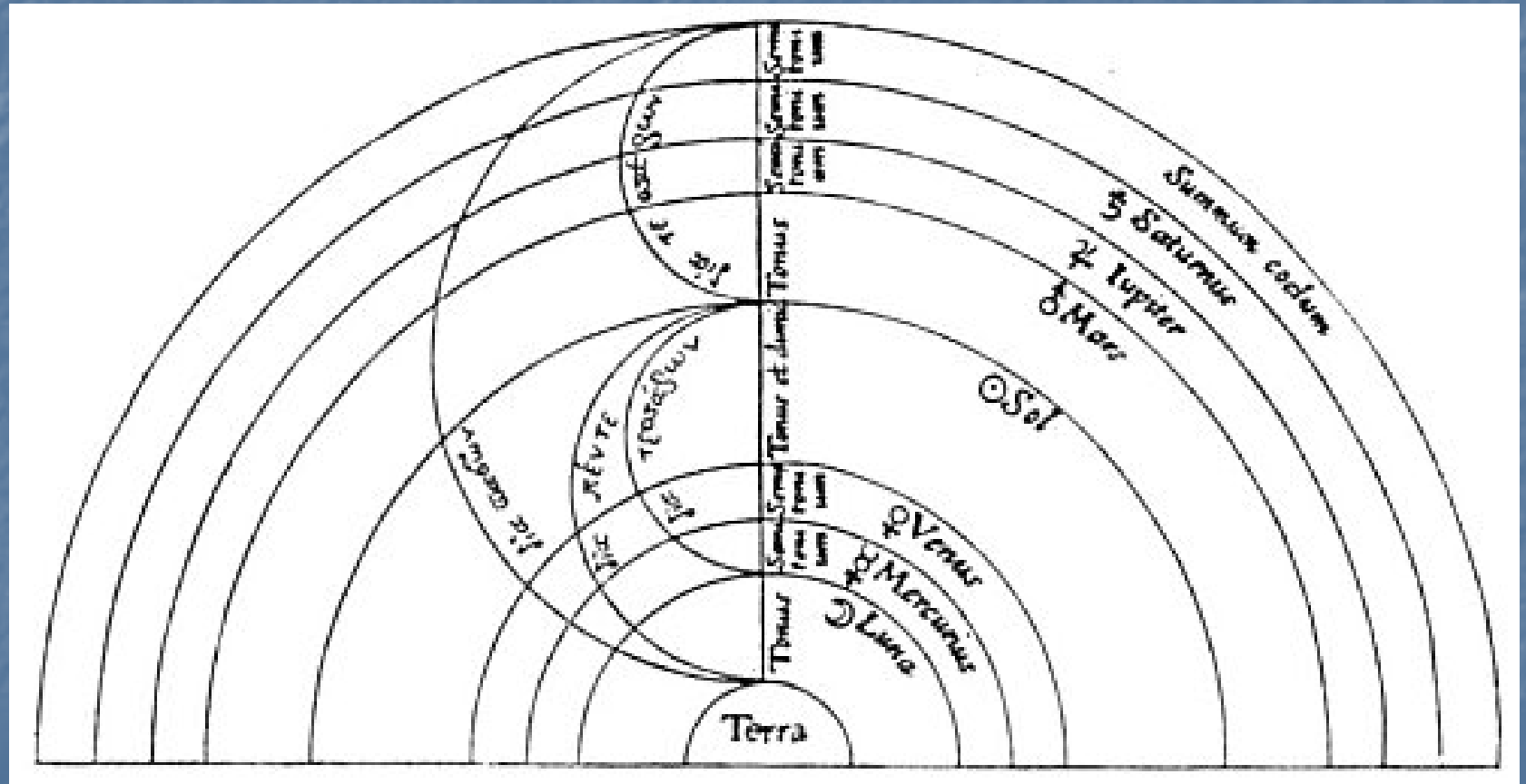
6<sup>ος</sup> αι. π.Χ.



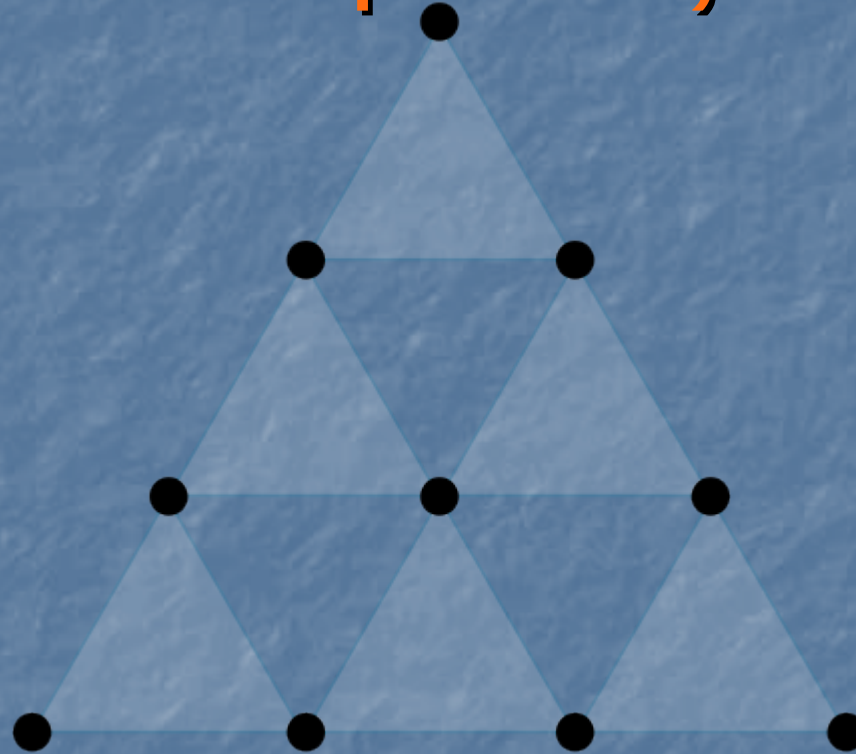
# Μονόχορδο



# Αρμονία των σφαιρών



# Τετρακτύς

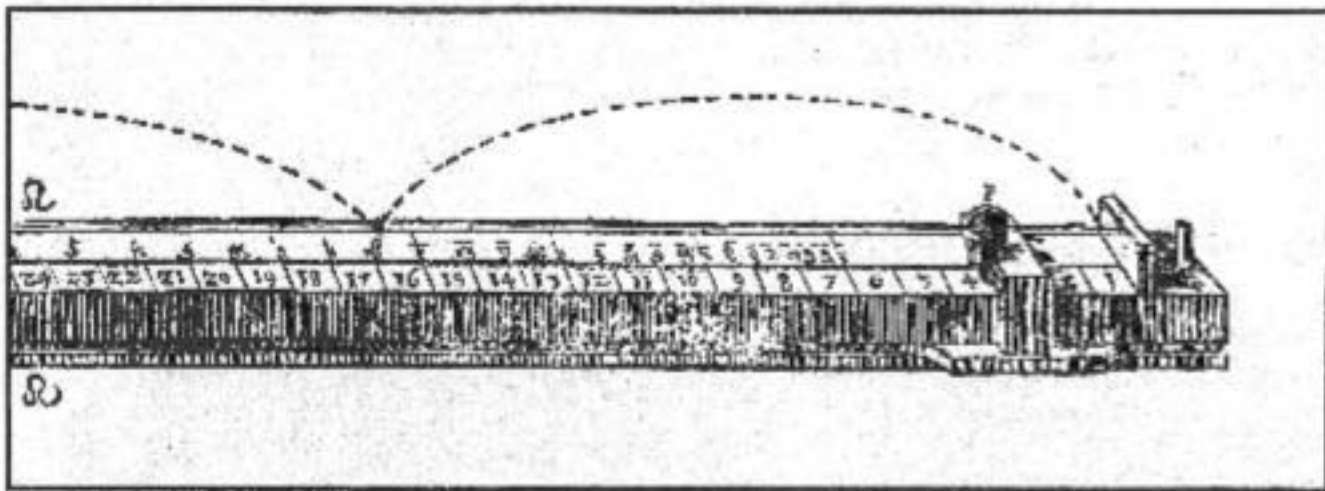


$$1+2+3+4=10=(1+0)=\mathbf{1}$$

$$\text{ΕΝ}+\text{ΔΥΟ}+\text{ΤΡΙΑ}+\text{ΤΕΣΣΑΡΑ}=55+474+411+807=1747$$

$$=(1+7+4+7)=19=(1+9)=10=(1+0)=\mathbf{1}$$

# Αρμονικές



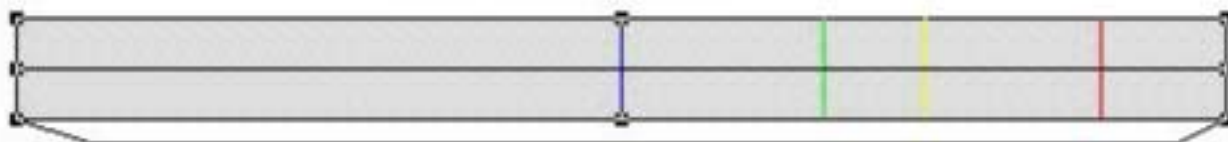
μήκος ενεργής χορδής

$1/2$

$2/3$

$3/4$

$8/9$



λόγος (συχνότητα)

$2/1$

$3/2$

$4/3$

$9/8$



# Μαθηματικοί λόγοι

- 1:2 διαπασών (οκτάβα)
- 2:3 δια πέντε (διάστημα πέμπτης)
- 3:4 δια τεσσάρων (διάστημα τέταρτης)
- Μια πέμπτη – μια τέταρτη ( $2/3:3/4$ ) = 8:9  
τόνος

# Κύκλος πεμπτών και Πυθαγόρειο κόμμα

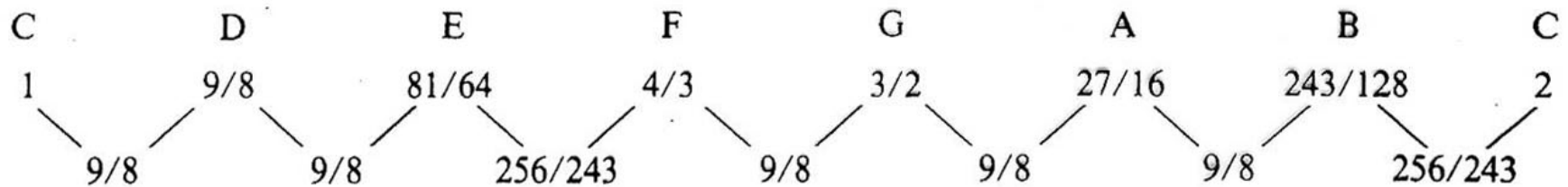
- Προσθέτοντας 12 Πέμπτες (π.χ. Do-Sol-Re-La-Mi-Si-Fa#-Do#-Sol#-Re#-La#-Fa-Do) συναντάμε πάλι το Do που είναι όμως λίγο πιο ψιλό από το αρχικό Do.

$$(3/2)^{12} = 129.75, \text{ ενώ } 2^7 = 128$$

$$129.75/128 = 1.0136 = \sim 23 \text{ cents (Πυθαγόρειο κόμμα)}$$

# Διατονική κλίμακα Πυθαγόρα

- Τόνος + τόνος = ΤρίτηΜ ( $9/8 * 9/8 = 81/64$ )
- Τέταρτη – ΤρίτηΜ = λείμμα (ημιτόνιο) ( $256/243$ )

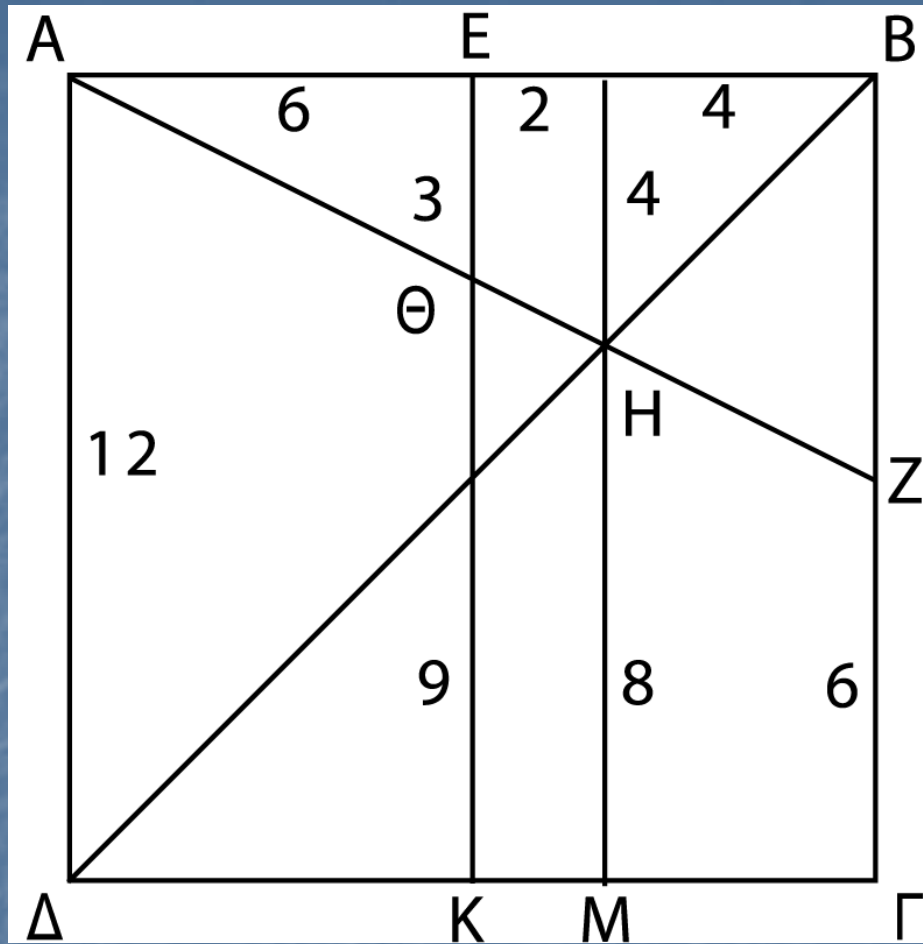


# Αριστόξενος - Πτολεμαίος

- Τρίτη:  $5/4$
- Τρίτη – Τόνο ( $5/4 : 9/8$ ) =  $10/9$  (Ελάσσων τόνος)

# Φυσική κλίμακα

	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
ΝΤΟ	ΡΕ	ΜΙ	ΦΑ	ΣΟΛ	ΛΑ	ΣΙ	ΝΤΟ
	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15



	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
ΝΤΟ	ΡΕ	ΜΙ	ΦΑ	ΣΟΛ	ΛΑ	ΣΙ	ΝΤΟ
	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15

# Διδύμειον κόμμα

- Λόγος Μείζονα / Ελάσσονα τόνο  
(9/8:10/9) = 80/81
- ή λείμματος / ημιτόνιο (256/243 : 16:15)  
= 80/81 (Διδύμειον κόμμα)

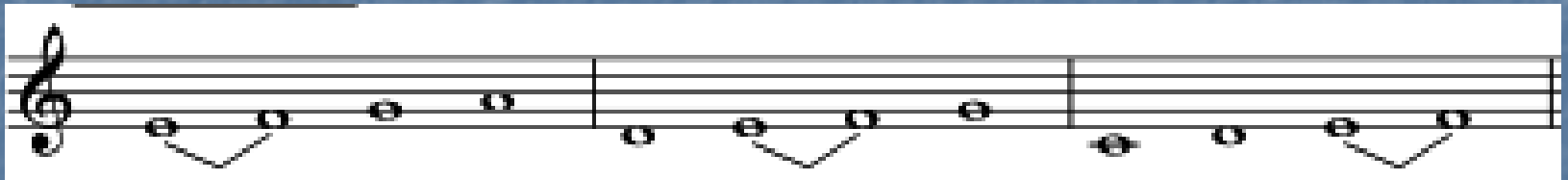
# Αριστόξενος

- Διαίρεση του ημιτονίου σε 6 μόρια και της οκτάβας σε 72 μέρη (6X12)
- Μείζων τόνος: 12 μόρια
- Ελάσσων τόνος: 10 μόρια
- Μεγάλο Ημιτόνιο: 8 μόρια
- Μικρό Ημιτόνιο: 6 μόρια  
(Πρώτος «συγκερασμός»)



# Γένη

- Διατονικό



- Χρωματικό

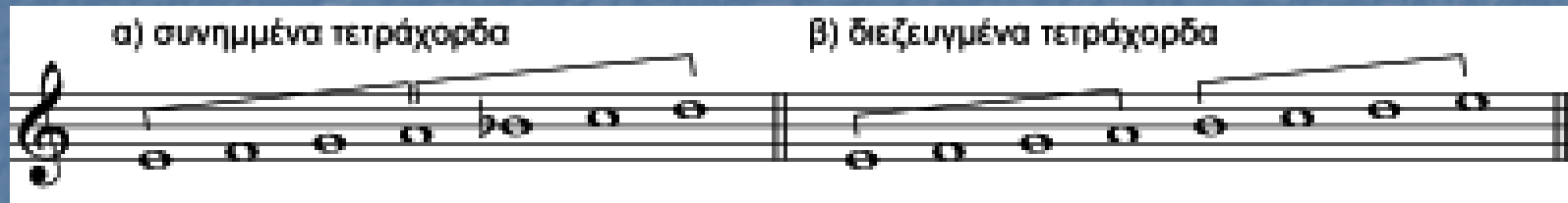
- Εναρμόνιο

A musical staff illustrating two types of scales. The first section, labeled "Χρωματικό γένος" (Chromatic genus), shows a chromatic scale: G4, A4, Bb4, B4, C5. The second section, labeled "Εναρμόνιο γένος" (Harmonic genus), shows a harmonic scale: G4, A4, B4, C5. The notes Bb4 and B4 in the harmonic scale are marked with a 1/4 note value below them, indicating they are half notes.

# Τετράχορδα

α) συνημμένα τετράχορδα

β) διεζευγμένα τετράχορδα



# Τρόποι

Δώριος	Μι - Μι
Φρύγιος	Ρε - Ρε
Λύδιος	Ντο - Ντο
Υποδώριος ή Αιόλιος	Λα-Λα
Υποφρύγιος ή Ιόνιος	Σολ - Σολ
Υπολύδιος	Φα - Φα
Μιξολύδιος	Σι - Σι

# Τρόποι

1. Υπερμικρολύδιος

Μέση

2. Μικρολύδιος

Μέση

3. Μικρολύδιος

Μέση

4. Λύδιος

Μέση

5. Λύδιος (βαρύτερος)

Μέση

The image displays five musical staves, each representing a different mode. Each staff begins with a treble clef and a key signature of one flat (B-flat). The notes are written on a five-line staff. Brackets and arrows labeled 'Μέση' (Middle) indicate the interval between the first and second notes of each mode. The modes are: 1. Υπερμικρολύδιος (Hypermicrolydian), 2. Μικρολύδιος (Microlydian), 3. Μικρολύδιος (Microlydian), 4. Λύδιος (Lydian), and 5. Λύδιος (βαρύτερος) (Lydian, darker).

# Τρόποι 2

6. Φρύγιος

Μέση

7. Φρύγιος (βαρύτερος)

Μέση

8. Δωρίος

Μέση

9. Υπολύδιος

Μέση

10. Υπολύδιος (βαρύτερος)

Μέση

# Maqams

The image displays six Maqams, each represented by a pair of musical staves. The top staff of each pair shows the 4-note scale, and the bottom staff shows the 5-note scale. The notes are marked with letters T, B, K, S, and A, and are connected by dashed vertical lines. The Maqams and their corresponding scales are:

- Çargâh 4** (Scale: T, T, B, T) and **Çargâh 5 lisi** (Scale: T, T, B, T)
- Bûselik 4** (Scale: T, B, T, T) and **Bûselik 5 lisi** (Scale: T, B, T, T)
- Kürdî 4** (Scale: B, T, T, T) and **Kürdî 5** (Scale: B, T, T, T)
- Rast 4** (Scale: T, K, S, T) and **Rast 5** (Scale: T, K, S, T)
- Uşşak 4** (Scale: K, S, T, T) and **Hüseynî 5** (Scale: K, S, T, T)
- Hicâz 4** (Scale: S, A, S, T) and **Hicâz 5** (Scale: S, A, S, T)

The image displays six horizontal musical staves, each representing a different Maqam. Each staff begins with a treble clef and a key signature of one flat (B-flat). The notes are written in a sequence that represents the characteristic scale of each Maqam. The Maqamat shown are: Rast, Bayyati, Saba, Sikah, Huzam, and Nahawand. The notes are arranged in a way that shows the unique intervals and accidentals that define each mode.

**Rast**

**Bayyati**

**Saba**

**Sikah**

**Huzam**

**Nahawand**

<http://www.maqamworld.com/>

# Προβλήματα του φυσικού κουρδίσματος

- Μείζων τόνος  $(10:9) = 1,111$
- Ελάσσων τόνος  $(9/10) = 1,125$
- 2 ημιτόνια  $(16/15 * 16/15) = 1,138$



# Διορθωμένα κούρδιασματα

- Διορθωμένο κούρδιασμα (Meantone)
- «Καλό» κούρδιασμα (Wohl temperiert)
- WERCKMEISTER I, II, III TEMPERAMENTS
- FRENCH TEMPERAMENT ORDINAIRE
- NEIDHARDT
- KIRNBERGER
- VALLOTTI,

# Διορθωμένο κούρδισμα (Pietro Aron 1523)

C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb	B	C
0	76	193	310	386	503	579	697	773	890	1007	1083	1200
0	-24	-7	+10	-14	+3	-21	-3	-27	-10	+7	-17	0

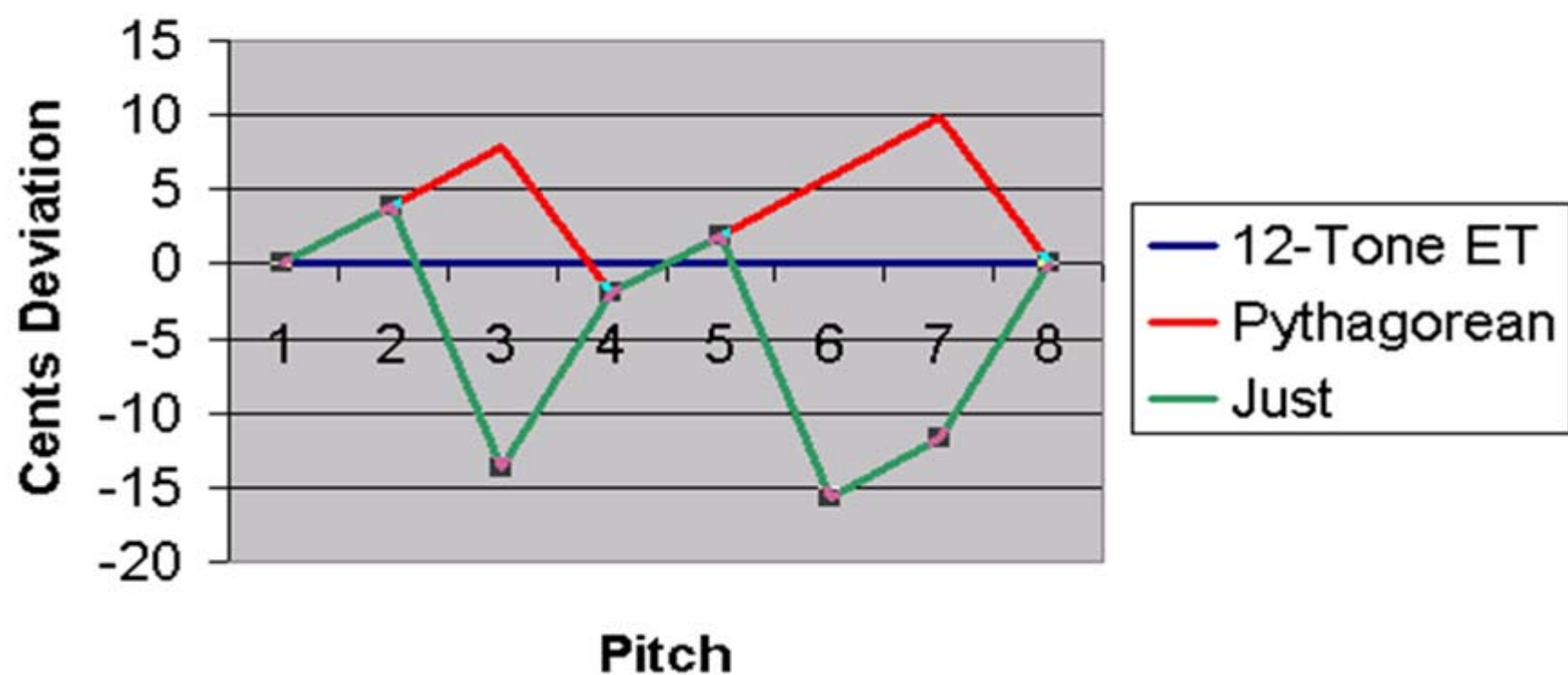
# Ισοσυγκερασμένο κούρδισμα

- Οκτάβα = 2:1
- Διαίρεση της οκτάβας σε 12 ίσα διαστήματα με λόγο  $x$
- Άρα  $x * x * x * \dots * x$  (12 φορές) ή  $x^{12} = 2$
- Συνεπώς  $x = \sqrt[12]{2} = 1,059463$

# Παρέκκλιση ισοσυγκερασμένου κουρδίσματος

■ Διάστημα	Φυσικό	Ισοσυγκ.	Διαφορά
■ Οκτάβα	1200	1200	0
■ 5η	702	700	-2
■ 4η	498	500	+2
■ Μεγάλη 3η	386	400	+14
■ Μικρή 3η	316	300	-16

## Comparing Tuning Systems



# Άλλα κουρδίσματα

- Τέταρτου του τόνου
- Μικροτονικά

# Αναφορές

- *12 Tone Equal Temperament Tuning History Timeline (from www.musemath.com)*  
[:http://www.musemath.com/miscellany/tuninghistory\\_4.html](http://www.musemath.com/miscellany/tuninghistory_4.html)
- *CCRMA Stanford lectures, Tom Rossing:*  
[https://ccrma.stanford.edu/courses/150/lectures/9\\_SCALESANDTEMPERAMENT.ppt](https://ccrma.stanford.edu/courses/150/lectures/9_SCALESANDTEMPERAMENT.ppt)
- *The History of Musical Tuning and Temperament during the Classical and Romantic Periods:*  
<http://www.the-compound.org/writing/classicaltuning.pdf>
- *Historical Tunings and Temperaments:* <http://members.iguest.net/~taldr/temperaments1.htm>
- *Means, Meaning, and Music: Pythagoras, Archytas, and Plato, Scott Makeig:* <http://www.ex-tempore.org/means/means.htm>
- *Periodicity of sinusoidal frequencies as a basis for the analysis of Baroque and Classical harmony: a computer based study, Robert Asmussen:* [http://www.terraworld.net/c-jasmussen/thesis\\_asmussen.pdf](http://www.terraworld.net/c-jasmussen/thesis_asmussen.pdf)
- *Tuning and Temperament In History and Practice (A brief introduction) Albert Stimson:*  
<http://stimsonservices.com/papers/temperament.pdf>
- *Das Wohltemperirte Clavier , Pitch, Tuning and Temperament Design John Charles Francis:*  
<http://www.eunomios.org/contrib/francis3/francis3.pdf>
- *HISTORY OF TUNING AND TEMPERAMENT Notes for the Spokane AGO Chapter, Howard Stoess:*  
[http://www.terryblackburn.us/music/temperament/Tuning\\_Handout.pdf](http://www.terryblackburn.us/music/temperament/Tuning_Handout.pdf)
- *Tuning and Temperament, Aline Honingh:*  
[http://staff.science.uva.nl/~ahoningh/teaching/lecture\\_tuning.pdf](http://staff.science.uva.nl/~ahoningh/teaching/lecture_tuning.pdf)
- *An Introduction to Historical Tunings, Kyle Gann:* <http://www.kylegann.com/histune.html>
- *Historical Tunings on the Modern Concert Grand, Edward Foote:* <http://www.piano-tuners.org/edfoote/index.html>
- *Η θεωρία του Αριστοξένου, Γιάννης Βαμβακάς:*  
<http://www.klika.gr/cms/index.php/ar8rografia/ar8ra/188-thoria-aristoxenou.html>
- *Λήμμα «Φυσική κλίμακα» στη musipedia:*  
[http://www.musipedia.gr/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%BA%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1](http://www.musipedia.gr/wiki/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BA%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1%CE%BA%CE%B1)