

The background of the slide is a faded, repeating pattern of musical notation on a staff. The notation includes various notes, stems, and beams, typical of a musical score. The text is overlaid on this background.

Развој музичких скала кроз историју: од Питагоре до једнако темпероване скале

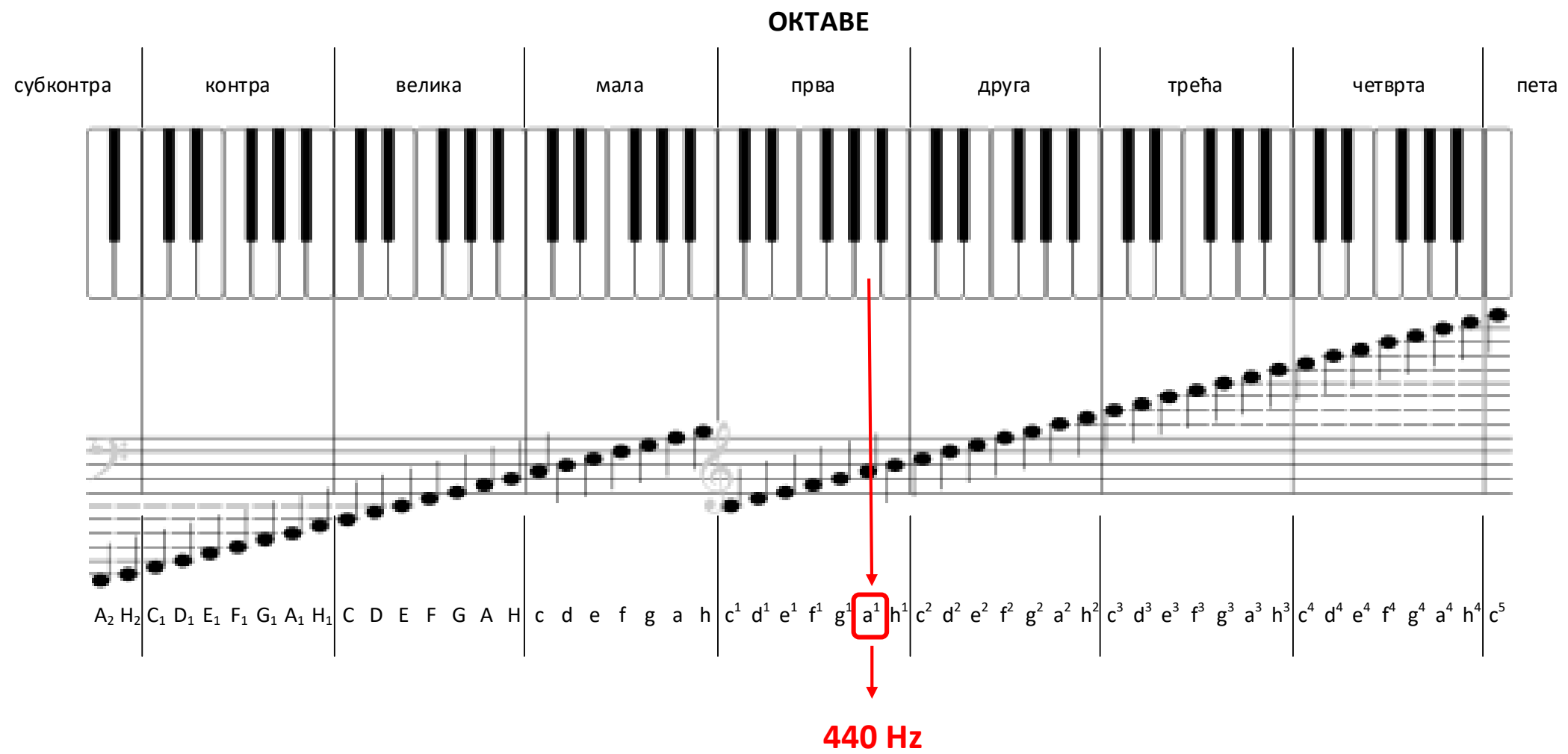
др Ива Салом
Институт Михајло Пупин

N. Scriabin (1872-1915)

Etude „Pathetique“ dis-moll Op. 8 No. 12



Савремени ТОНСКИ СИСТЕМ





Музички интервали

♪ Размак између 2 тона

♪ Могу бити

♪ хармонијски (истовремено)

♪ мелодијски (један за другим)

♪ Подела по величини:

♪ прима do-do чиста/прекомерна

♪ секунда do-re велика/мала

♪ терца do-mi велика/мала

♪ кварта do-fa умањена/чиста/прекомерна

♪ квинта do-sol умањена/чиста/прекомерна

♪ секста do-la велика/мала

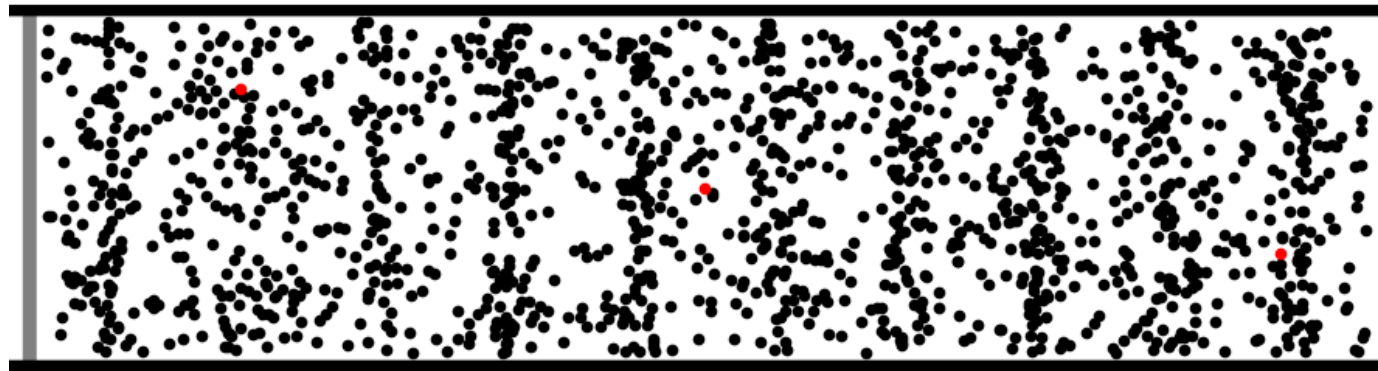
♪ септима do-si велика/мала

♪ октава do-do умањена/чиста/прекомерна

♪ ...

Звук

- ♪ **Звук** - свака временски променљива механичка осцилација у еластичној средини
- ♪ **Звучни талас** – механичко таласно кретање које настаје механчким осцилацијама у материјалу
- ♪ **Звучно поље** – простор у коме звук постоји





Извори звука

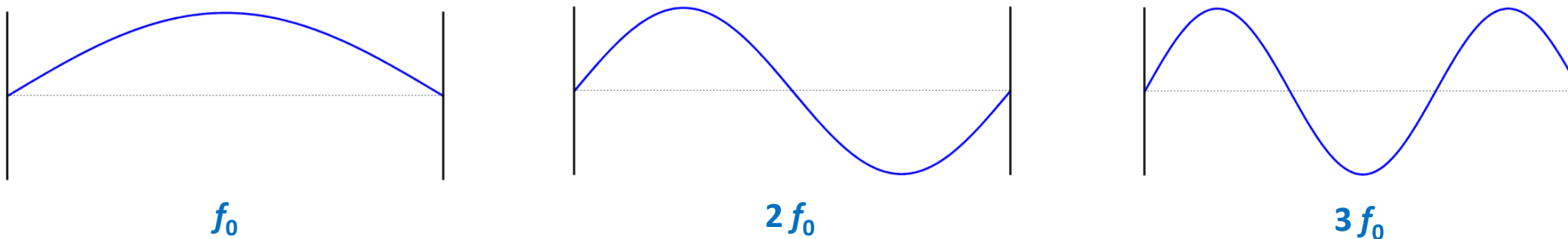
♪ Пример: жица која осцилује

♪ једнодимензионални осцилатор

♪ сопствени модови

♪ линеаран еластичан систем

♪ основна фреквенција и виши хармоници



♪ хармоници у музичкој терминологији: аликвотни низ

Чуло слуха



♪ 2 функционалне компоненте

♪ ФИЗИОЛОШКА

♪ ПСИХОЛОШКА

♪ Физиолошки део:

♪ спољашње ухо

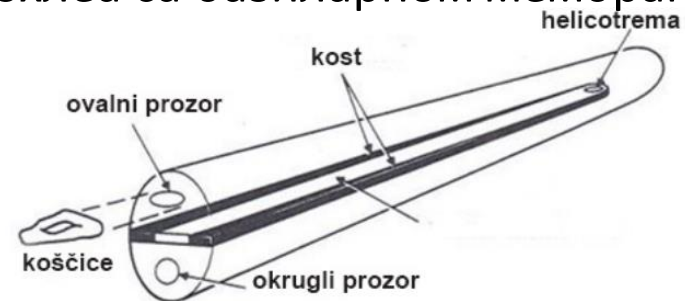
♪ ушна шкољка и слушни канал

♪ средње ухо

♪ бубна опна, 3 кошчице, овални прозор

♪ унутрашње ухо

♪ кохлеа са базиларном мембраном



Субјективни доживљај звука

♪ Јачина (en. *loudness*)

♪ Висина (en. *pitch*)

♪ Боја (en. *timbre*)

♪ Трајање (en. *duration*)

♪ ANSI 1960: субјективни психоакустички атрибут: сви звуци се могу поређати на скали од ниских до високих

♪ **доминантно зависи од f_0**

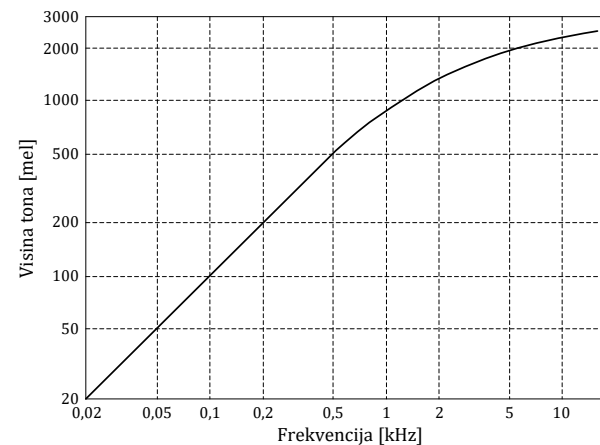
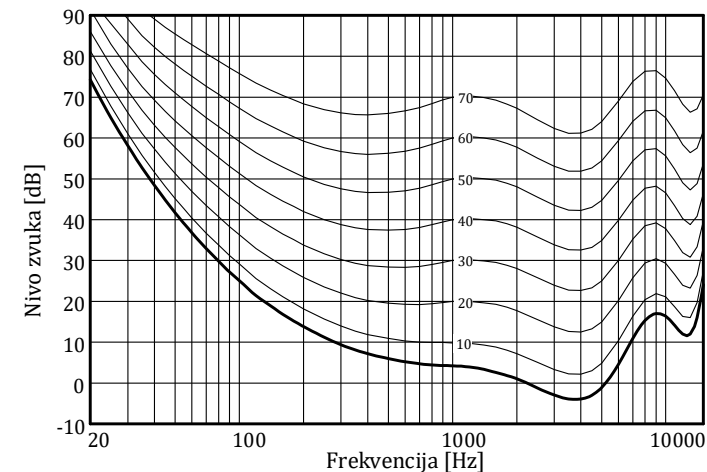
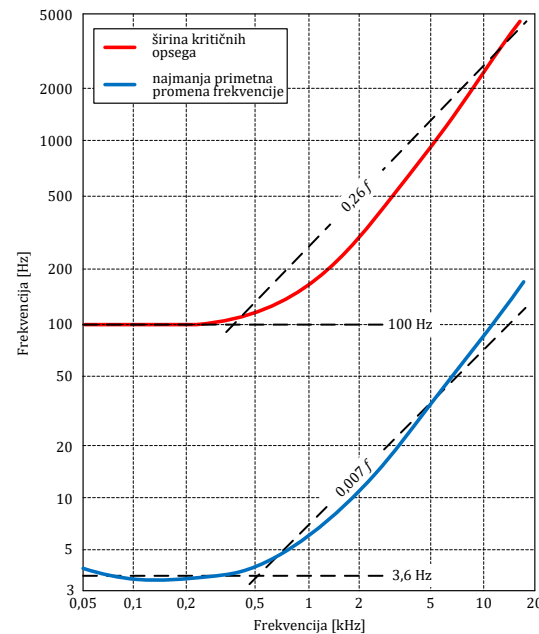
♪ **20 Hz – 20 kHz**

♪ ANSI 1960: субјективна карактеристика звука: омогућава разликовање звука различитих извора

♪ **зависи од односа амплитуда виших хармоника**

Субјективни ефекти и висина тона

- ♪ Критични опсези
- ♪ Најмања приметна промена фреквенције
- ♪ Ефекат маскирања
- ♪ Доминантни фреквенцијски опсег
- ♪ Нелинеарност уха
- ♪ Логаритамска веза фреквенције и висине
 - ♪ ОКТАВНА ЕКВИВАЛЕНТНОСТ
 - ♪ ОКТАВНА НЕОДРЕЂЕНОСТ



Консонанце и дисонанце

♪ Осећај сазвучја више тонова

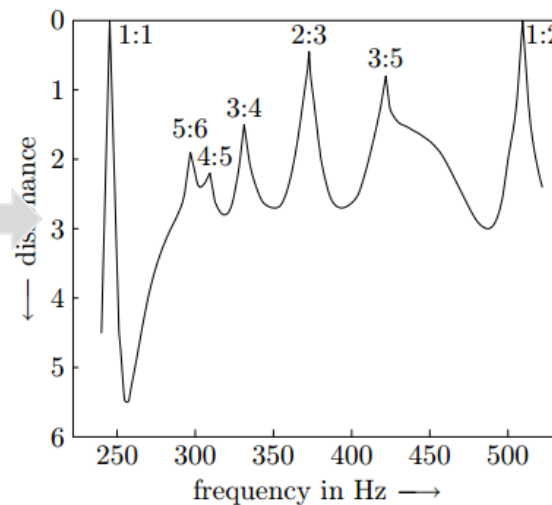
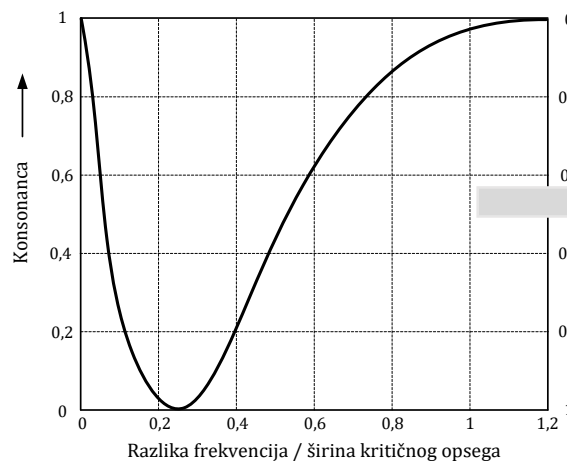
КОНСОНАНЦА

пријатан субјективан осећај

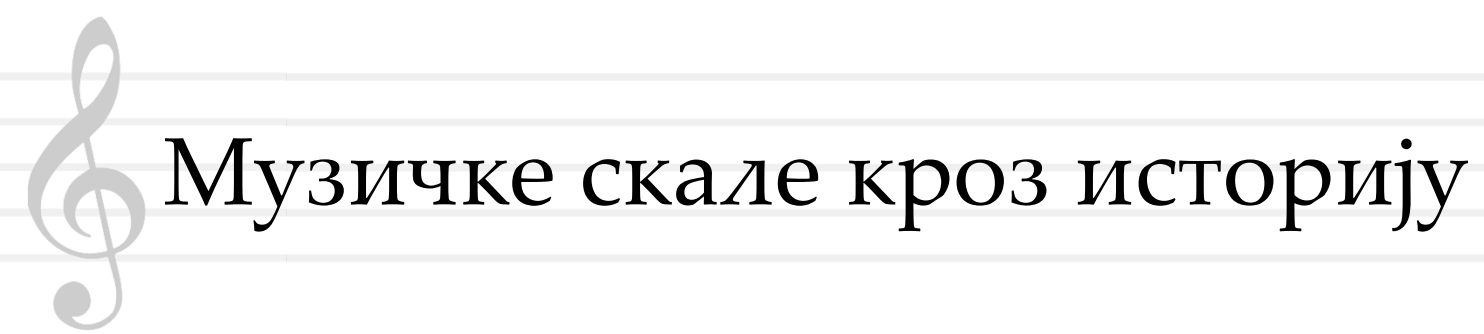
Интервал	Однос фреквенција
октава	2:1
чиста квинта	3:2
чиста кварта	4:3
велика секста	5:3
велика терца	5:4
мала секста	8:5
мала терца	6:5

ДИСОНАНЦА

непријатност, напетост...



Plomp, Levelt, 1965.



Музичке скале кроз историју

♪ Питагорејска скала

♪ Природна скала (*Just Intonation*)

♪ Темпероване скале (*Tempered Scales*)

♪ Једнако темперована скала (*Equal Tempered Scale*)



Питагорејска скала



Franchino Gafurio, 1492
Frontispiece to Theorica Musicae

♪ *Pythagoras* (6 век пне.)

♪ Закон малих целих бројева

2 : 1 октава

3 : 2 квинта

4 : 3 кварта

♪ Формирање скале

♪ основни тон

♪ квинтни круг навише

♪ спуштање на основну октаву

F – C – G – D – A – E – H
 $\frac{3}{2}$ $\frac{3}{2}:2$ $\frac{3}{2}:2$ $\frac{3}{2}:2^2$ $\frac{3}{2}:2^2$ $\frac{3}{2}:2^3$



Питагорејска скала

Нота	Питагорејска			
	f_n/f_c	f_n/f_c	f_n/f_{n-1}	f_n/f_{n-1}
C	1	1,000		
D	9/8	1,125	9/8	1,125
E	81/64	1,266	9/8	1,125
F	4/3	1,333	256/243	1,053
G	3/2	1,500	9/8	1,125
A	27/16	1,687	9/8	1,125
H	243/128	1,898	9/8	1,125
C	2	2,000	256/243	1,053

♪ Предности:

♪ консонантност чистих квинти и кварта

♪ Недостаци:

♪ дисонантни остали интервали (терца и секста)

♪ полустепен (**256/243**) мањи је од пола целог степена (**9/8**)

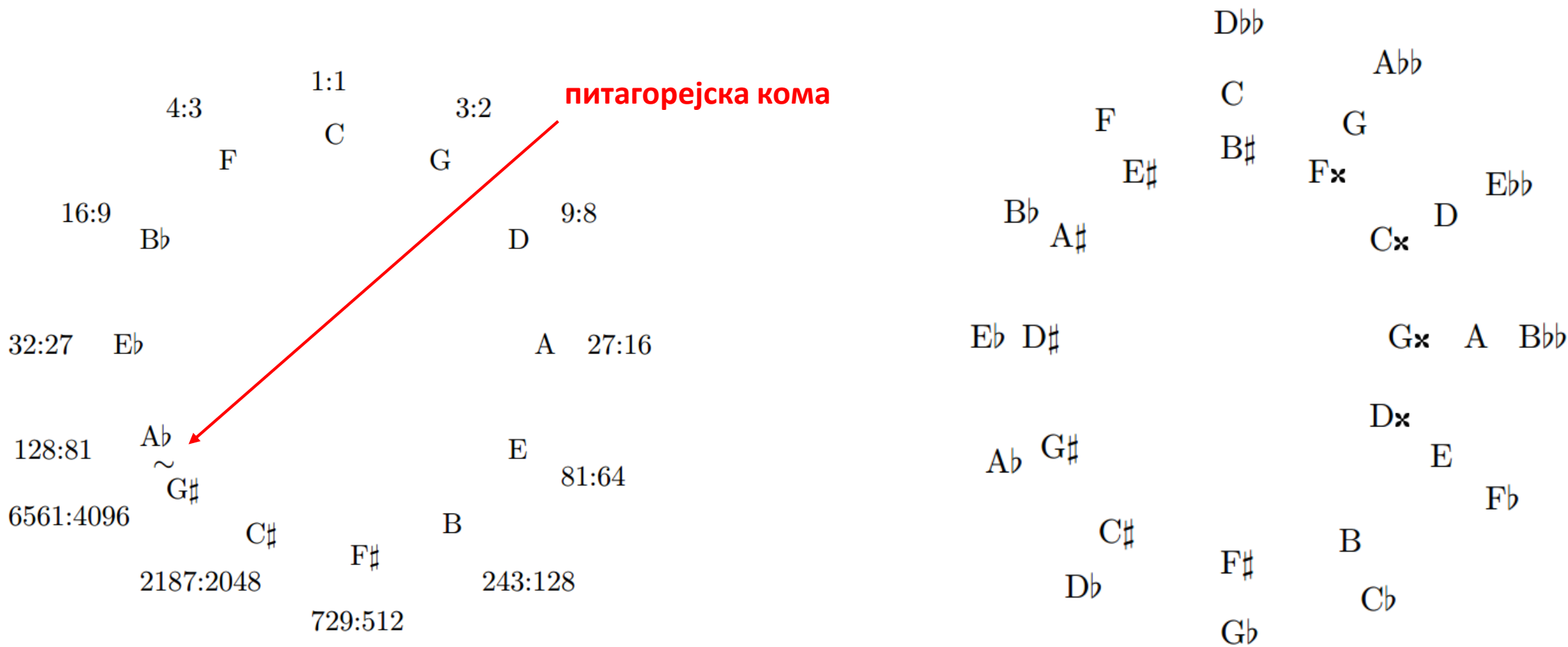
♪ квинтна „спирала“:
12 квинти и 7 октава =>

Питагорејска (дитонична) кома:

$$(3/2)^{12} : 2^7 = 531\ 441 : 524\ 288 = 1,013643265...$$



Квинтна спирала Питагорејског тонског система



Природна скала (*Just Intonation*)

16. век не.

♪ Виши хармоници пребачени на прву октаву:

1 : 1 – хармоник 1, 2, 4, 8...

3 : 2 – хармоник 3, 6, 12...

5 : 4 – хармоник 5, 10...

7 : 4 – хармоник 7, 14...

♪ Консонантни интервали велике терце 5 : 4 и велике сексте 5 : 3
(*Didymus* 1. век пне., *Ptolemy* 2. век пне.)


♪ Консонантни трозвук **4 : 5 : 6** (дурски):

♪ на I ступњу: C – E – G

♪ на IV ступњу: F – A – C  ФОРМИРАЊЕ СКАЛЕ

♪ на V ступњу: G – B – D

♪ Консонантни трозвук **10 : 12 : 15** (молски) на III и VI ступњу



Природна скала (*Just Intonation*)

Нота	Питагорејска				Природна			
	f_n/f_c		f_n/f_{n-1}		f_n/f_c		f_n/f_{n-1}	
C	1	1,000			1	1,000		
D	9/8	1,125	9/8	1,125	9/8	1,125	9/8	1,125
E	81/64	1,266	9/8	1,125	5/4	1,250	10/9	1,111
F	4/3	1,333	256/243	1,053	4/3	1,333	16/15	1,067
G	3/2	1,500	9/8	1,125	3/2	1,500	9/8	1,125
A	27/16	1,687	9/8	1,125	5/3	1,667	10/9	1,111
H	243/128	1,898	9/8	1,125	15/8	1,875	9/8	1,125
C	2	2,000	256/243	1,053	2	2,000	16/15	1,067

♪ Недостатци:

♪ 2 велика степена (**9/8** и **10/9**),
1 полустепен (**16/15**)

♪ штимовање за сваки тоналитет

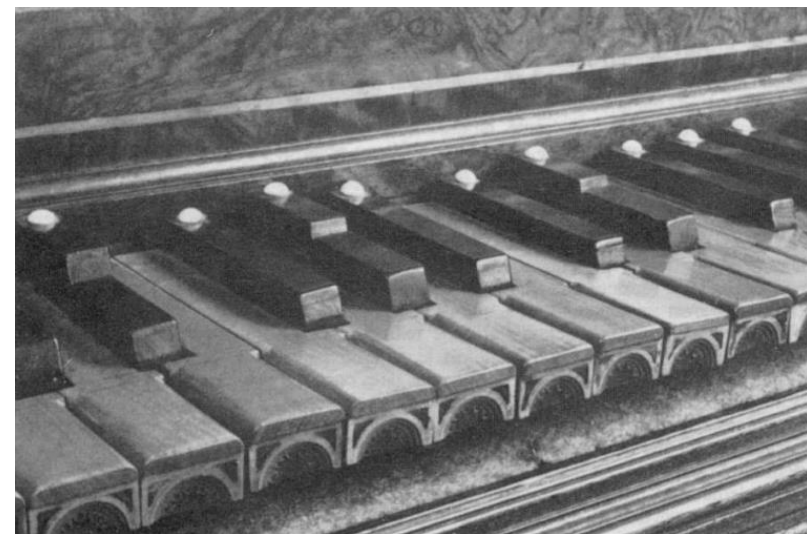
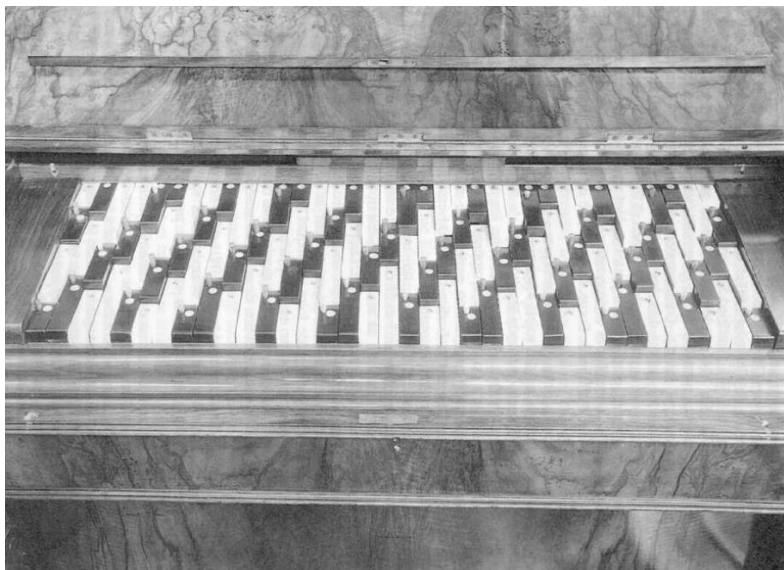
♪ Различите верзије природне скале због одређивања осталих тонова до лествице од 12 тонова

♪ Одступање велике терце од питагорејске:

синтонична (обична) кома:

$$(86/64) : (5/4) = 81/80 = 1,0125$$

Природна скала (*Just Intonation*)





Eitz-ово обележавање

♪ Одступање од тонова питагорејске скале изражено у броју синтоничних кома

питагорејска скала

$C^0 - D^0 - E^0 - F^0 - G^0 - A^0 - H^0 - C^0$


природна скала

$C^0 - D^0 - E^{-1} - F^0 - G^0 - A^{-1} - H^{-1} - C^0$



Темпероване скале

- ♪ Идеја је да се реше проблеми претходних скала:
 - ♪ дисонантни интервали терце и сексте, као код питагорејске скале (на рачун чисте квинте)
 - ♪ немогућност модулације у различите тоналитете
- ♪ Различите врсте темперованих скала
 - ♪ средњетонска скала (*Meantone Scale*)
 - ♪ добро темперована скала (*Well Tempered Scale*)
 - ♪ ирегуларне скале



Средњетонска скала (*Meantone Scale*)

♪ Померање квинте за делове синтетичке коме (α) у корист велике терце

$$\begin{array}{cccccc}
 E^{-4\alpha} & B^{-5\alpha} & F\sharp^{-6\alpha} & C\sharp^{-7\alpha} & G\sharp^{-8\alpha} & \\
 C^0 & G^{-\alpha} & D^{-2\alpha} & A^{-3\alpha} & E^{-4\alpha} & \\
 E\flat^{+3\alpha} & B\flat^{+2\alpha} & F^{+\alpha} & C^0 & &
 \end{array}$$

α	Скала	
0	питагорејска	
1/7	Romieu	(1755); <i>M'emoire th'eorique et pratique sur les syst`emes temp'er'es de musique</i> , Paris, 1758
1/6	Silbermann	Sorge, <i>Gespr"ach zwischen einem Musico theoretico und einem Studioso musices</i> , Lobenstein, 1748, p. 20
1/5	Abraham Verheijen Lemme Rossi	Simon Stevin, <i>Van de Spiegeling der Singconst</i> , c. 1600 <i>Sistema musico</i> , Perugia, 1666, p. 58
2/9	Lemme Rossi	<i>Sistema musico</i> , Perugia, 1666, p. 64
1/4	Aaron/Gibelius/Zarlino/. . .	Aaron, 1523. . .
2/7	Gioseffo Zarlino	<i>Istitutioni armoniche</i> , Venice, 1558
1/3	Francisco de Salinas	<i>De musica libri VII</i> , Salamanca, 1577

Добро темперована скала (*Well Tempered Scale*)

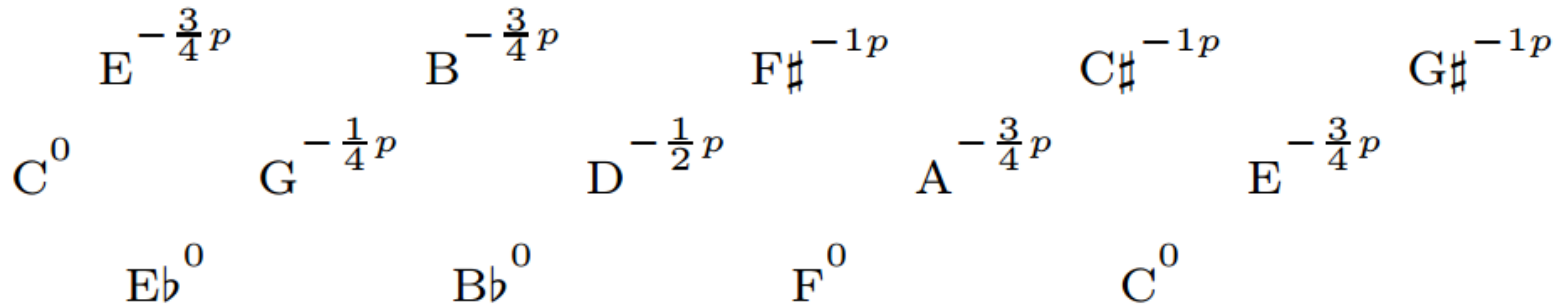
♪ Решава проблеме

♪ „*wolf*“ квинте

♪ квинтни круг и модулације у различите тоналитете


♪ Недостатак: различити полустепени

♪ Најпознатија је „*Wreckmeister III*“ (*Andreas Wreckmeister* (1645-1706))
са померањем за делове питагорејске коме



♪ J. S. Bach „*Well Tempered Clavier*“, 1722.

прелудији и фуге у 24 дурска и молска тоналитета



Једнако темперована скала (*Equal Tempered Scale*)

♪ Октава се дели на 12 једнаких полустепена:

Marin Merseene,
Harmonie Universelle, 1636.

$$\sqrt[12]{2} = 1,05946$$

♪ Предност:

♪ квинтни круг

♪ модулација у било који тоналитет

♪ Недостатак: одступање свих интервала од консонантних интервала



Цент

- ♪ Логаритамска јединица за мерење интервала
- ♪ Октава садржи 1200 центи
- ♪ Полустепен једнако темпероване скале садржи 100 центи

$$1200 \log_2 \frac{f_2}{f_1} [\text{¢}]$$



Поређења скала

Нота	Питагорејска				Природна				Једнако темперована			
	f_n/f_c		f_n/f_{n-1}		f_n/f_c		f_n/f_{n-1}		f_n/f_c		f_n/f_{n-1}	
C	1	1,000			1	1,000			1	1,000		
D	9/8	1,125	9/8	1,125	9/8	1,125	9/8	1,125	$2^{2/12}$	1,122	$2^{2/12}$	1,122
E	81/64	1,266	9/8	1,125	5/4	1,250	10/9	1,111	$2^{4/12}$	1,260	$2^{2/12}$	1,122
F	4/3	1,333	256/243	1,053	4/3	1,333	16/15	1,067	$2^{5/12}$	1,335	$2^{1/12}$	1,059
G	3/2	1,500	9/8	1,125	3/2	1,500	9/8	1,125	$2^{7/12}$	1,498	$2^{2/12}$	1,122
A	27/16	1,687	9/8	1,125	5/3	1,667	10/9	1,111	$2^{9/12}$	1,682	$2^{2/12}$	1,122
H	243/128	1,898	9/8	1,125	15/8	1,875	9/8	1,125	$2^{11/12}$	1,888	$2^{2/12}$	1,122
C	2	2,000	256/243	1,053	2	2,000	16/15	1,067	2	2,000	$2^{1/12}$	1,059

C – E – G – B



C – B





Поређења интервала

Интервал	Питагорејска			Природна			Једнако темперована		
	однос	број	центи	однос	број	центи	однос	број	центи
октава	2/1	2,000	1200	2/1	2,000	1200	2	2,000	1200
чиста квинта	3/2	1,500	702	3/2	1,500	702	$2^{7/12}$	1,498	700
чиста кварта	4/3	1,333	498	4/3	1,333	498	$2^{5/12}$	1,335	500
велика терца	81/64	1,266	408	5/4 	1,250	386	$2^{4/12}$ 	1,260	400
мала терца	32/27	1,185	294	6/5	1,200	316	$2^{3/12}$	1,189	300
велика секста	27/16	1,687	906	5/3	1,667	884	$2^{9/12}$	1,682	900
мала секста	128/81	1,580	792	8/5	1,600	814	$2^{8/12}$	1,587	800

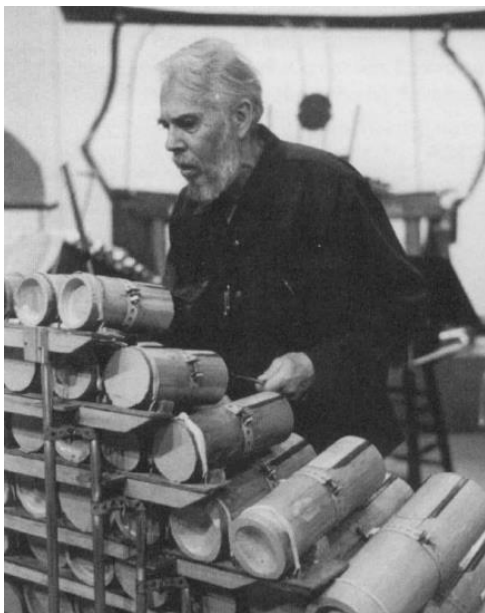
И даље се експериментише...

♪ Финија подела октаве (19, 24, 31, 43, 53...)

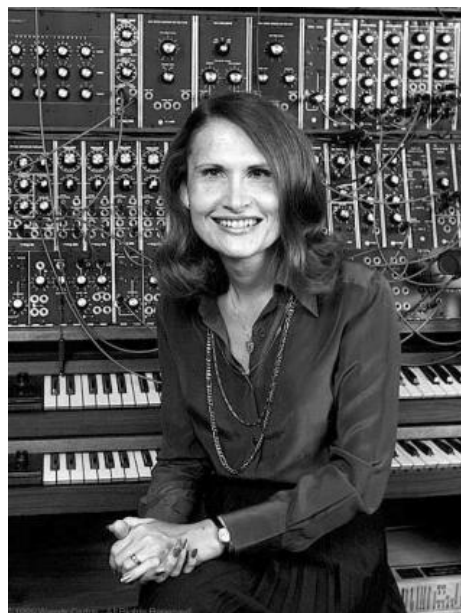
♪ Основни интервал није октава

...

Harry Partch



Wendy Carlos



...

Природна скала

