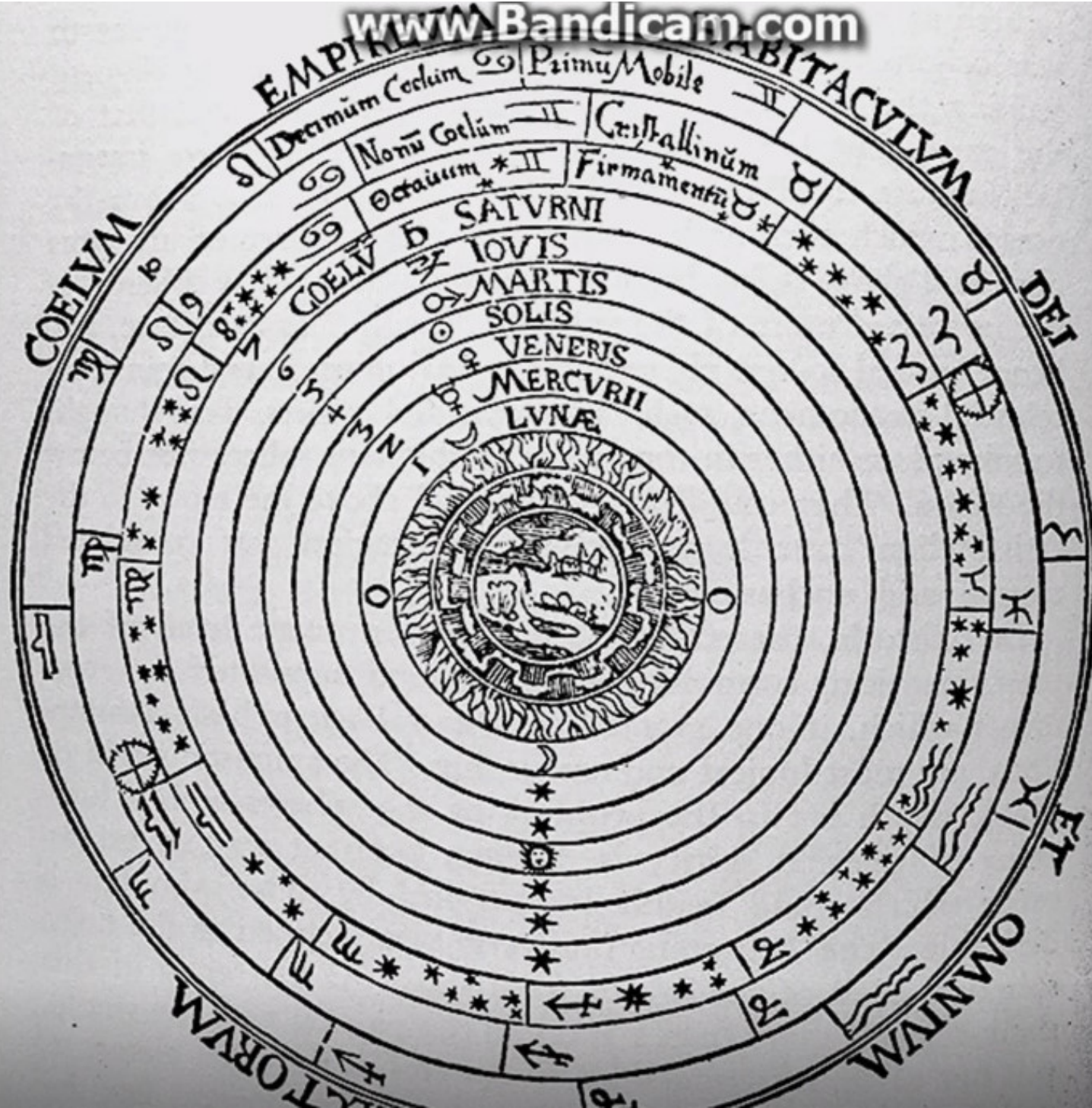
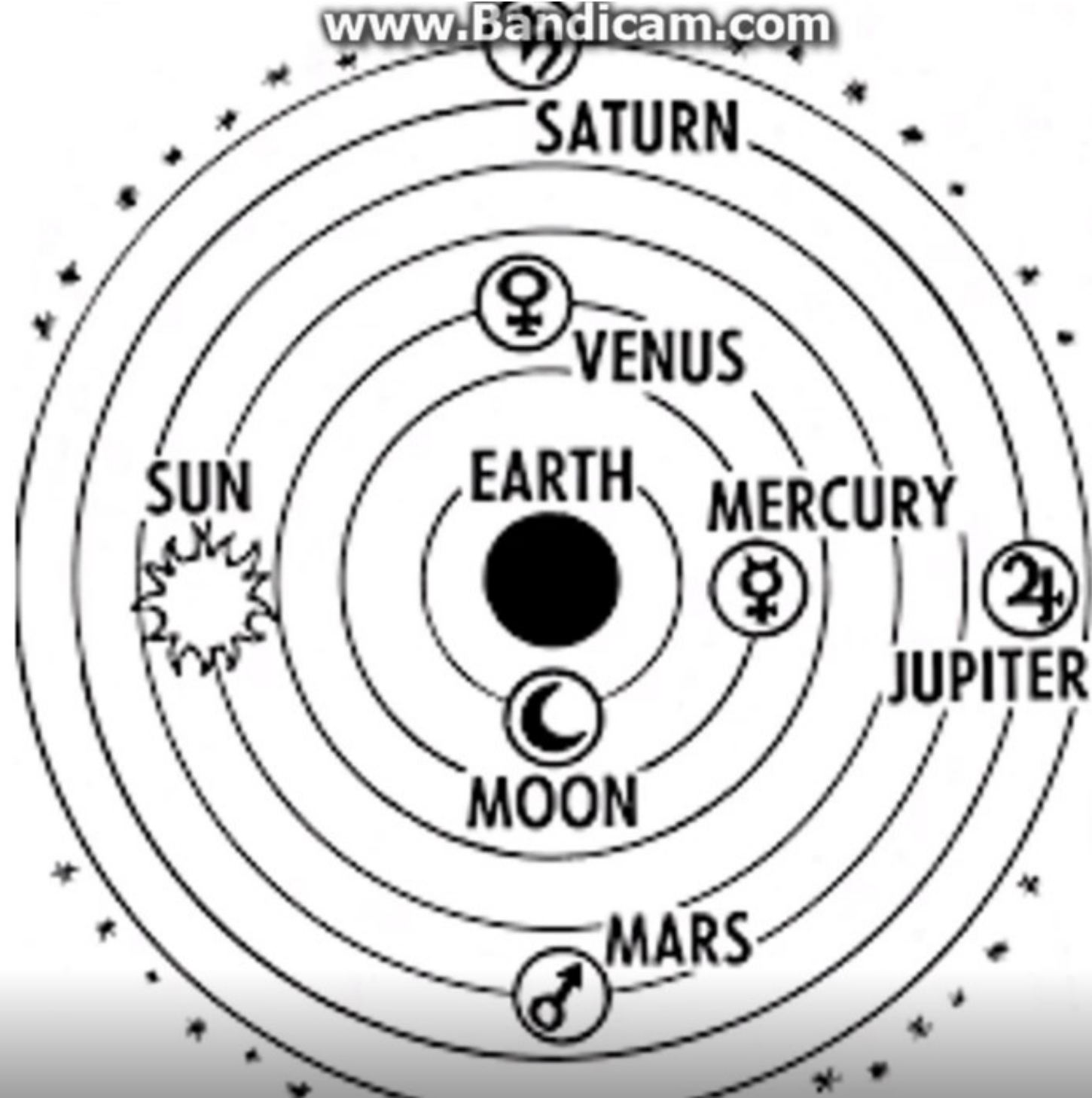


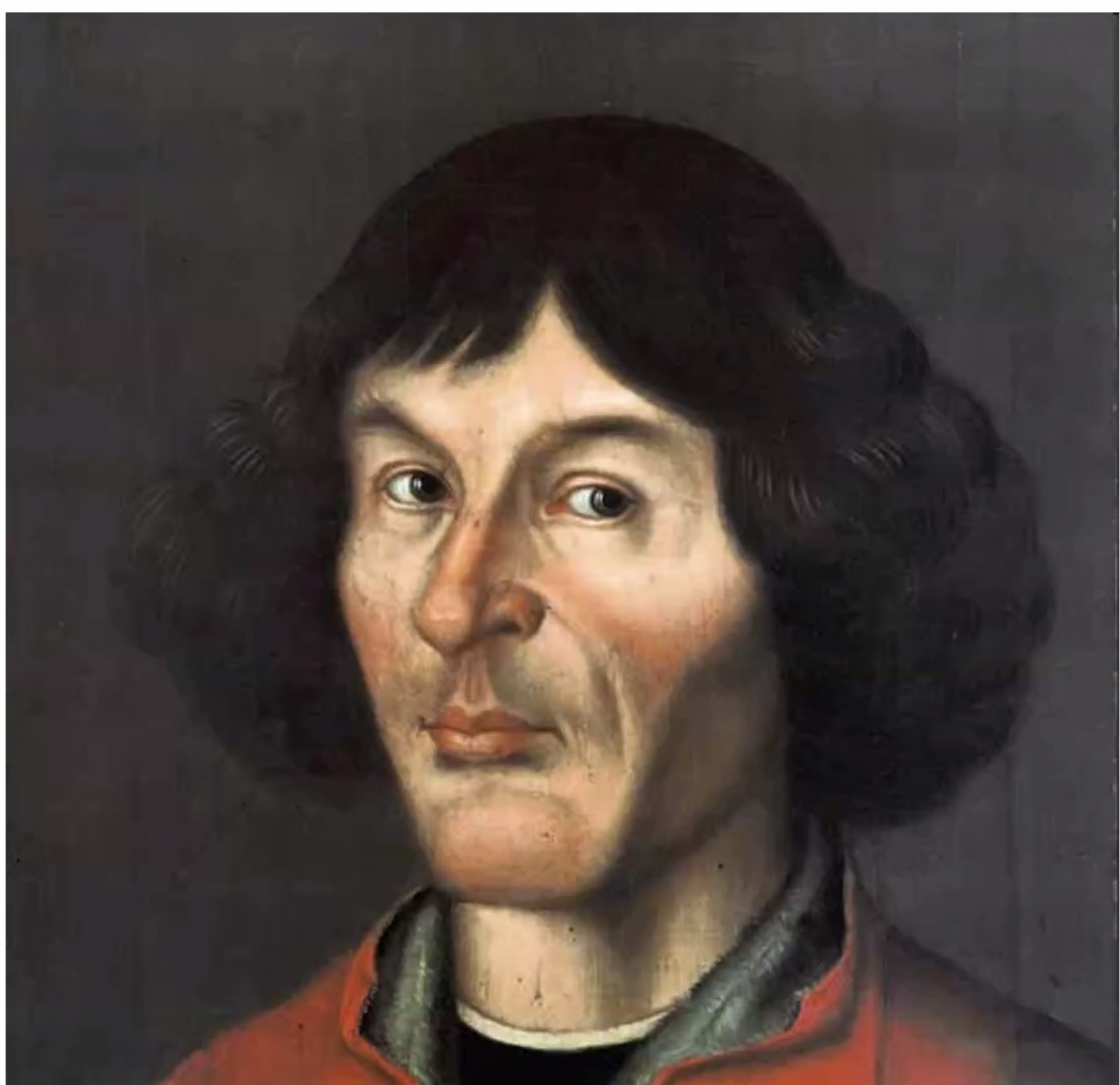
II d.C.

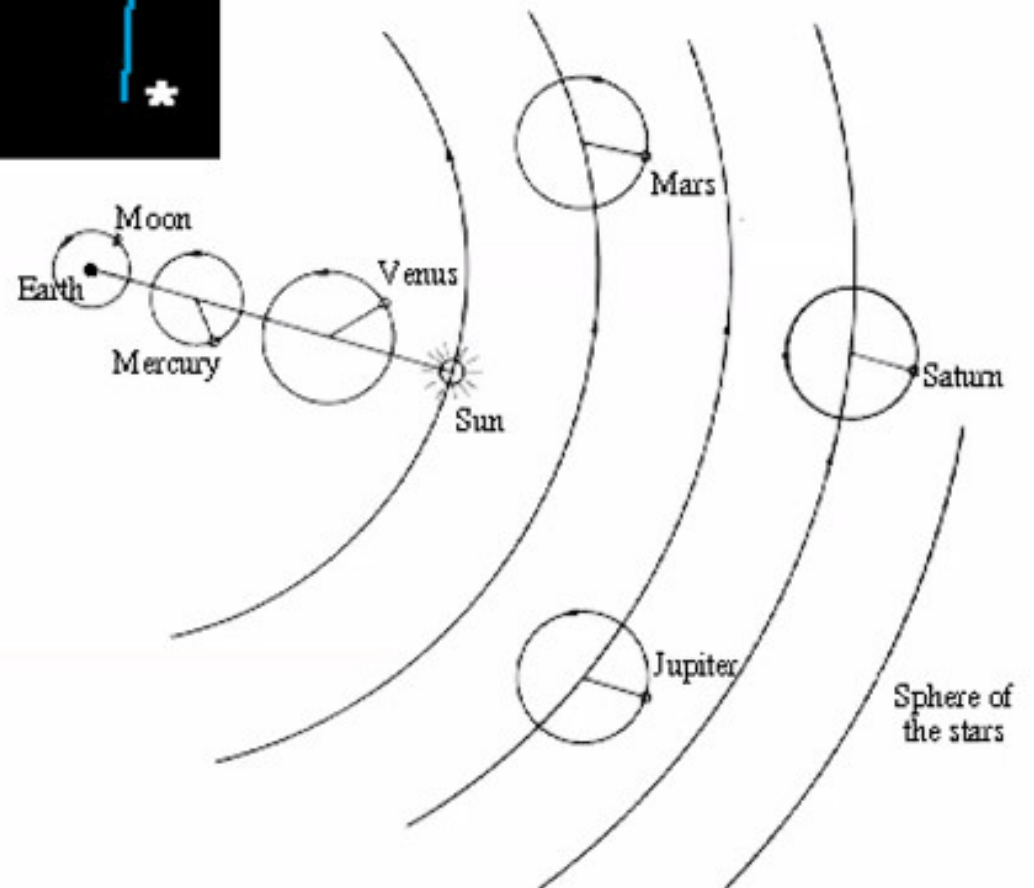
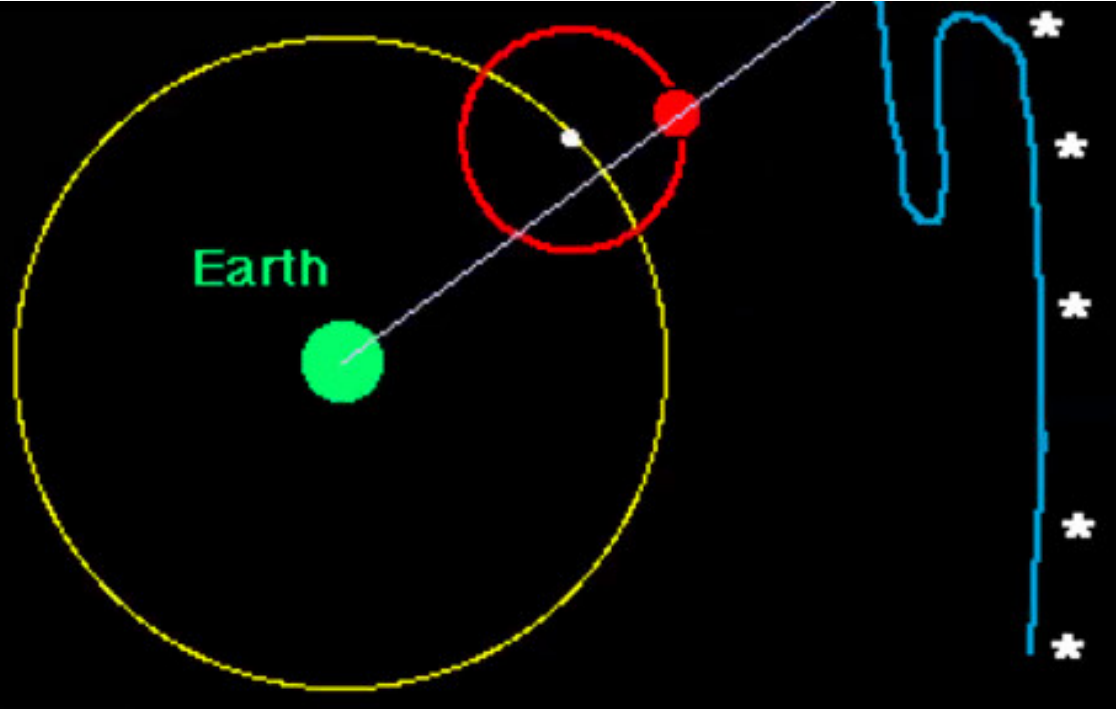


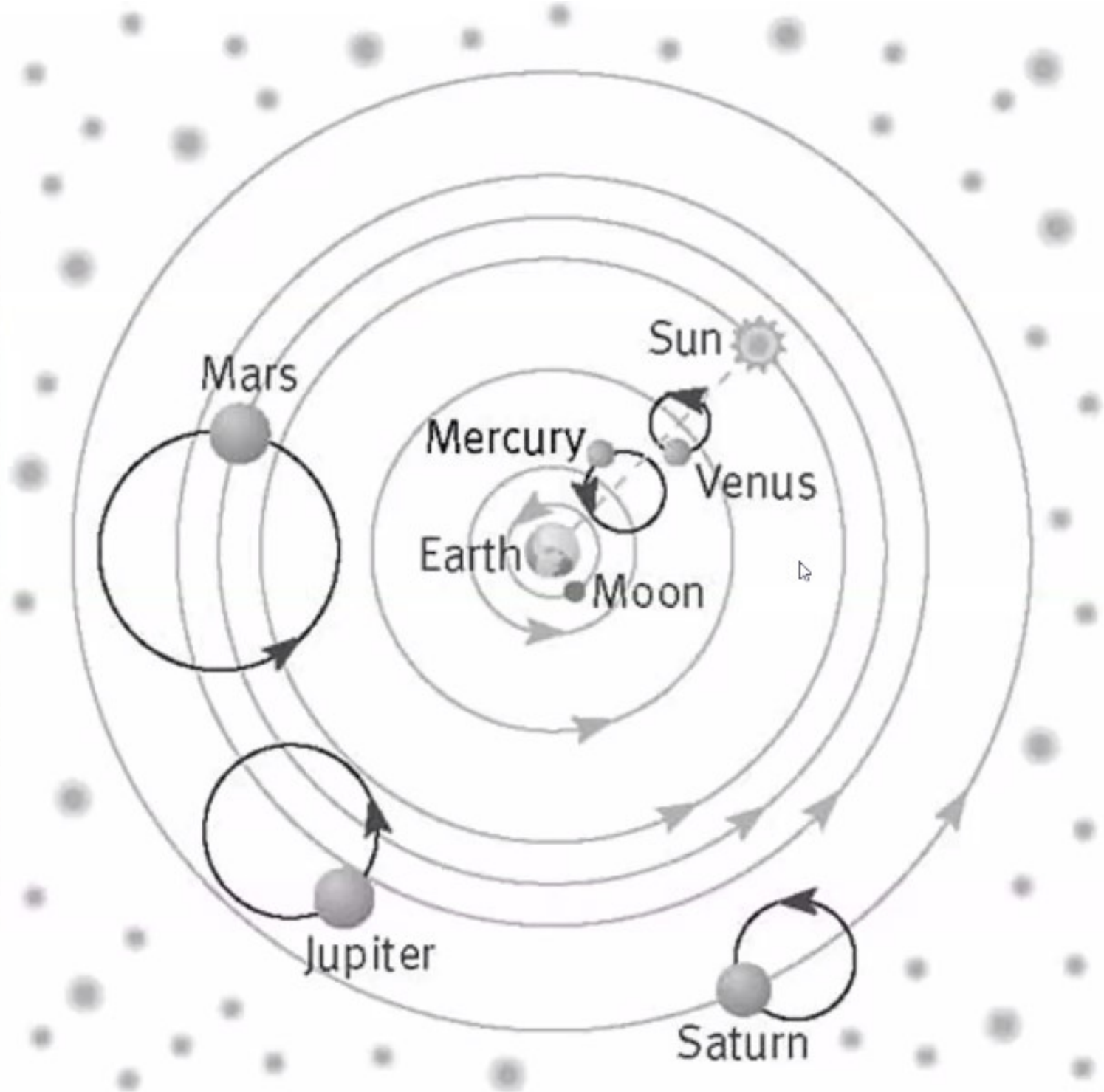




1543







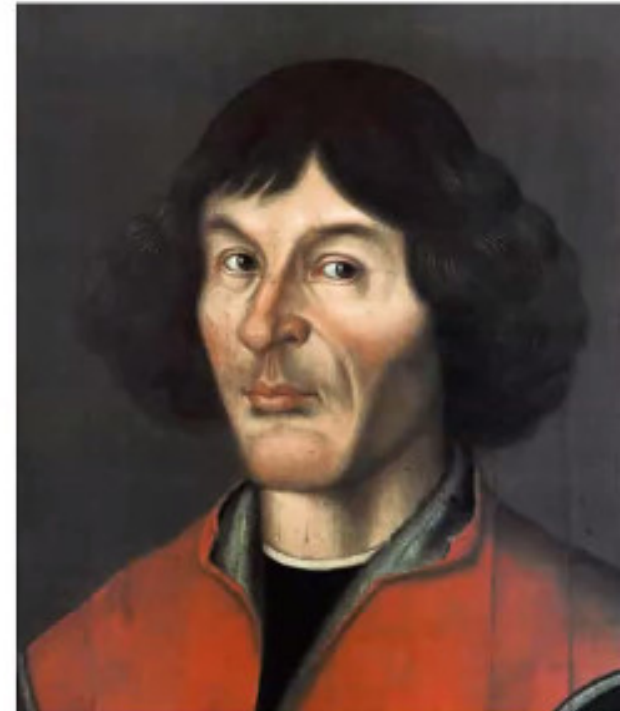
II d.C.



...

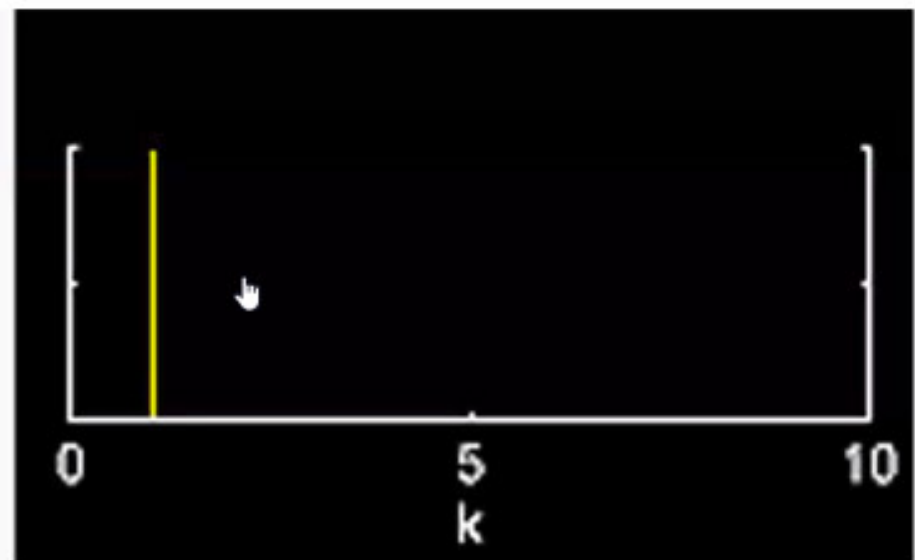


1543



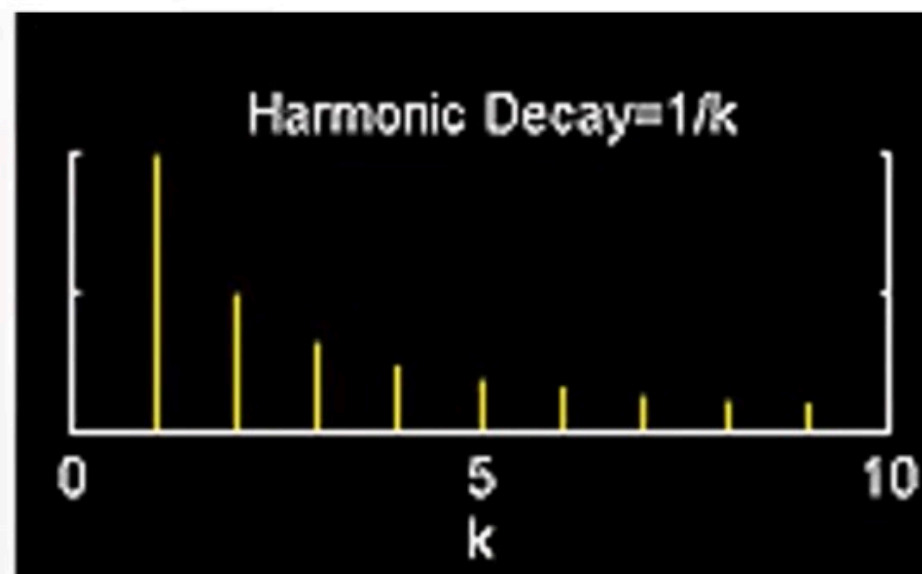
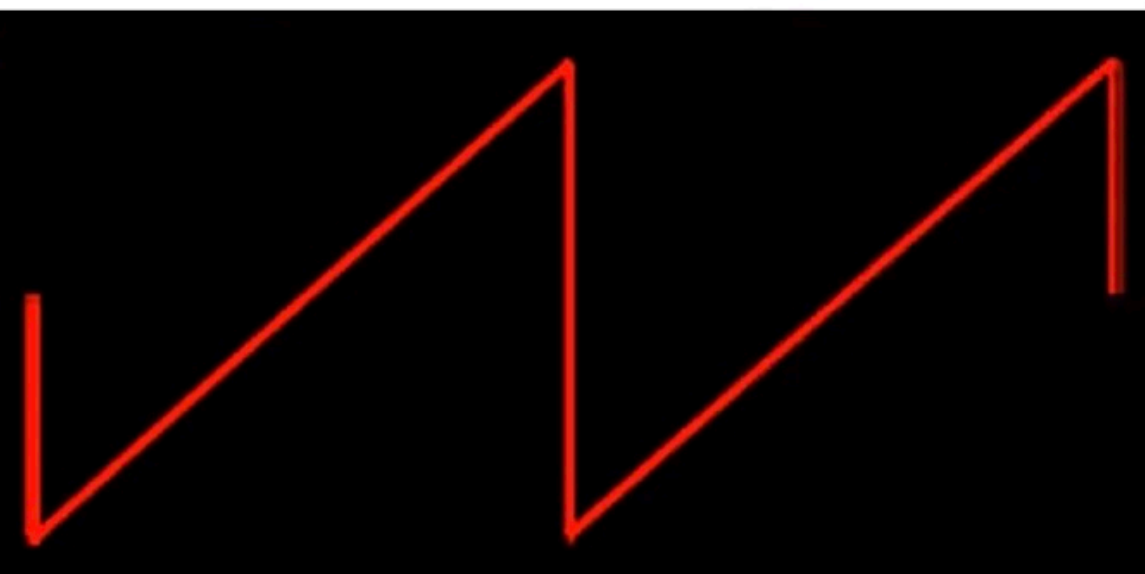
Fourier per esempi

◆ Onda sinusoidale 400 Hz



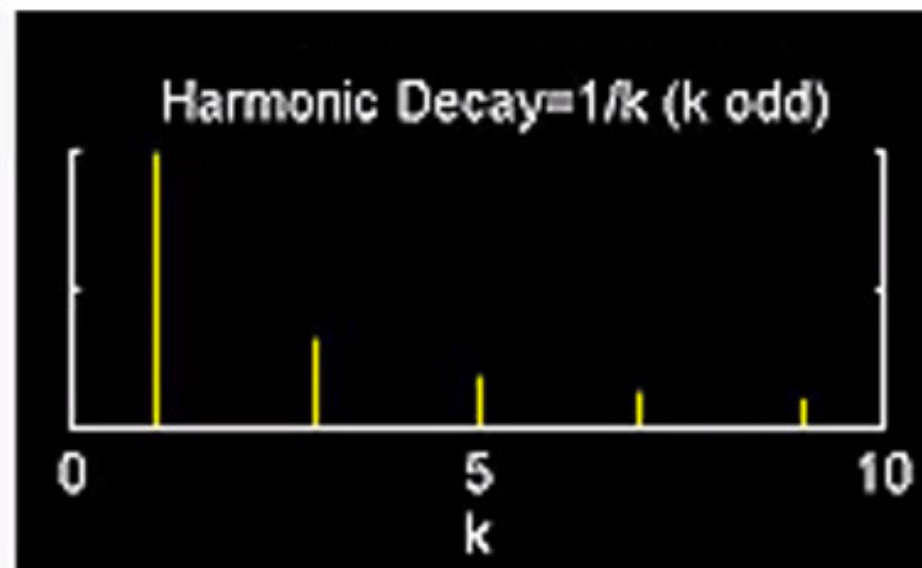
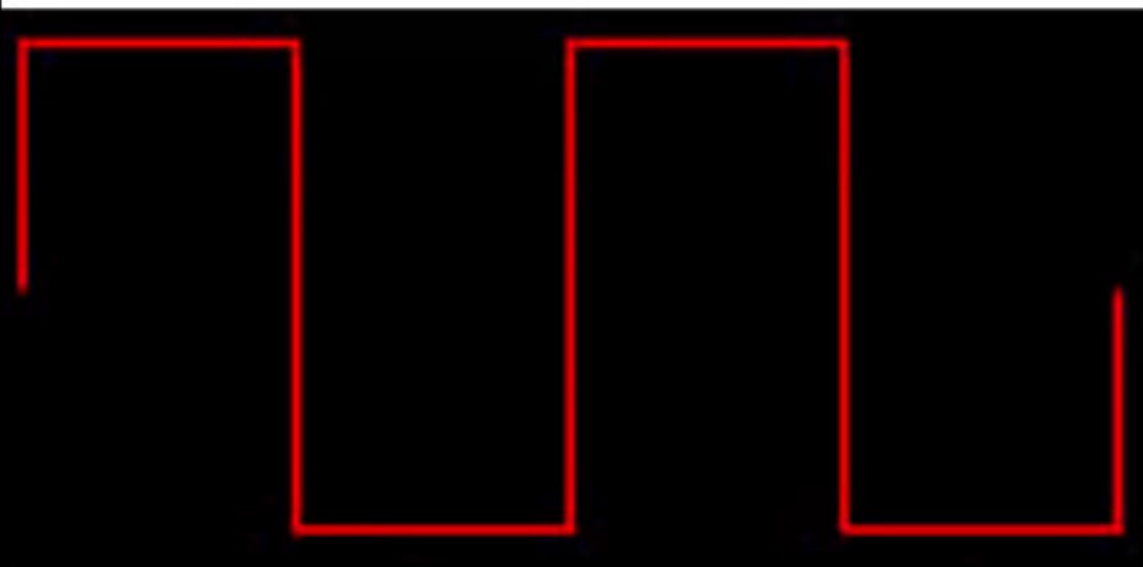
Fourier per esempi

◆ Onda "a denti di sega" 400 Hz



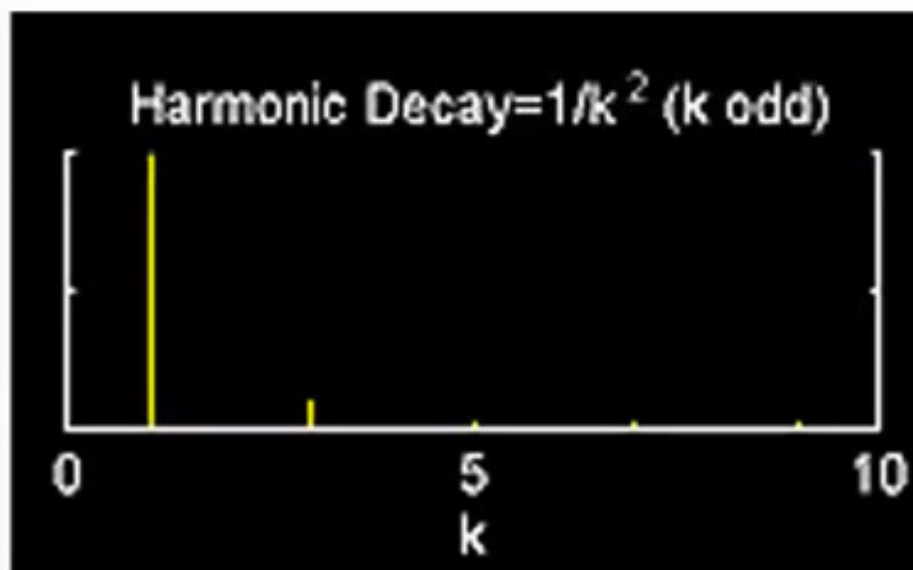
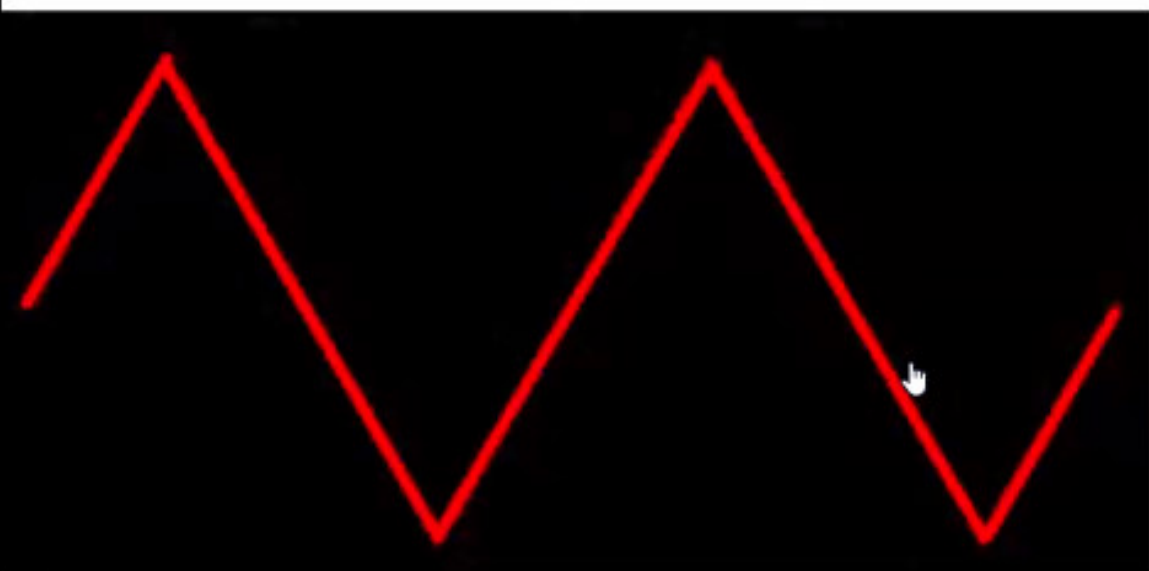
Fourier per esempi

◆ Onda Quadrata 400 Hz

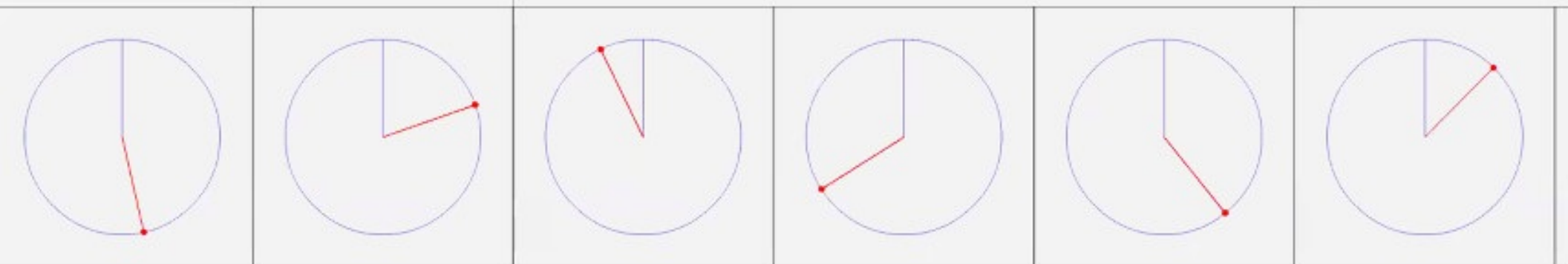


Fourier per esempi

◆ Onda triangolare 400 Hz



CUORE



1

1

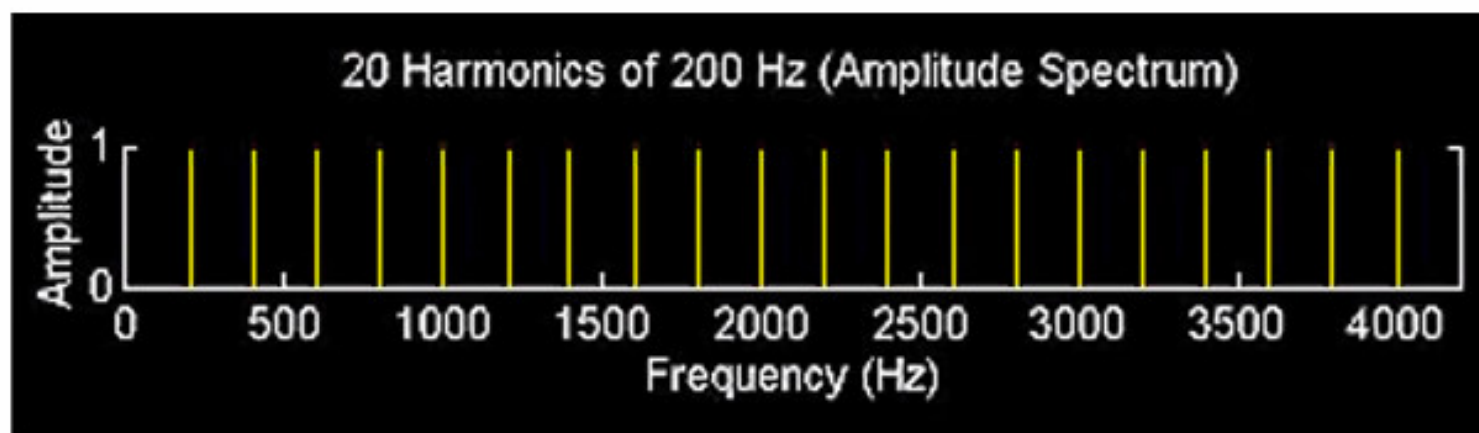
1

1

1

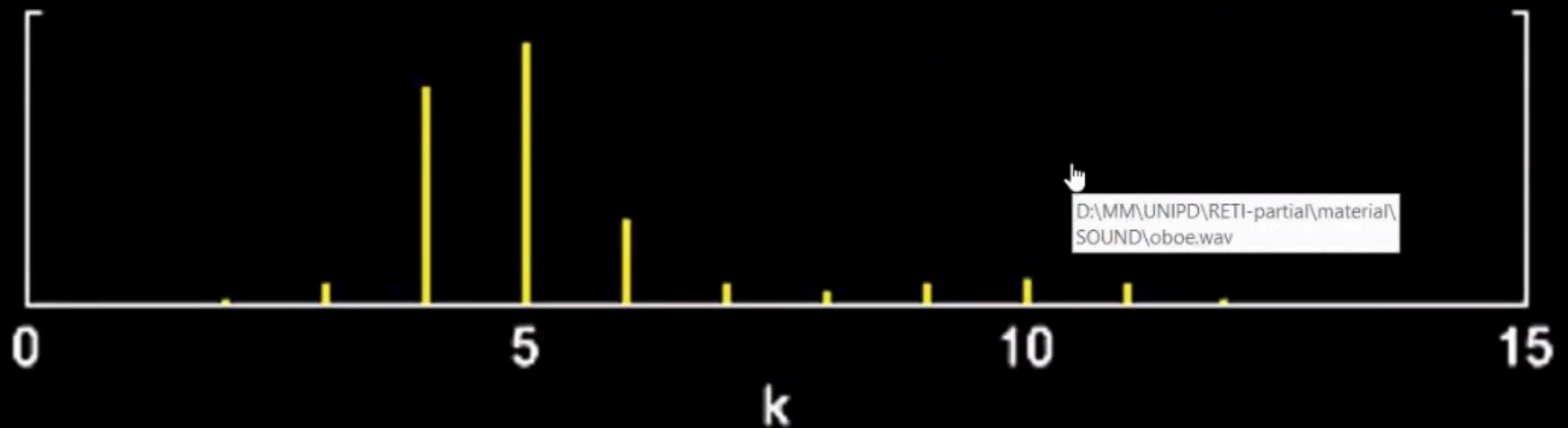
1

Contributi armonici

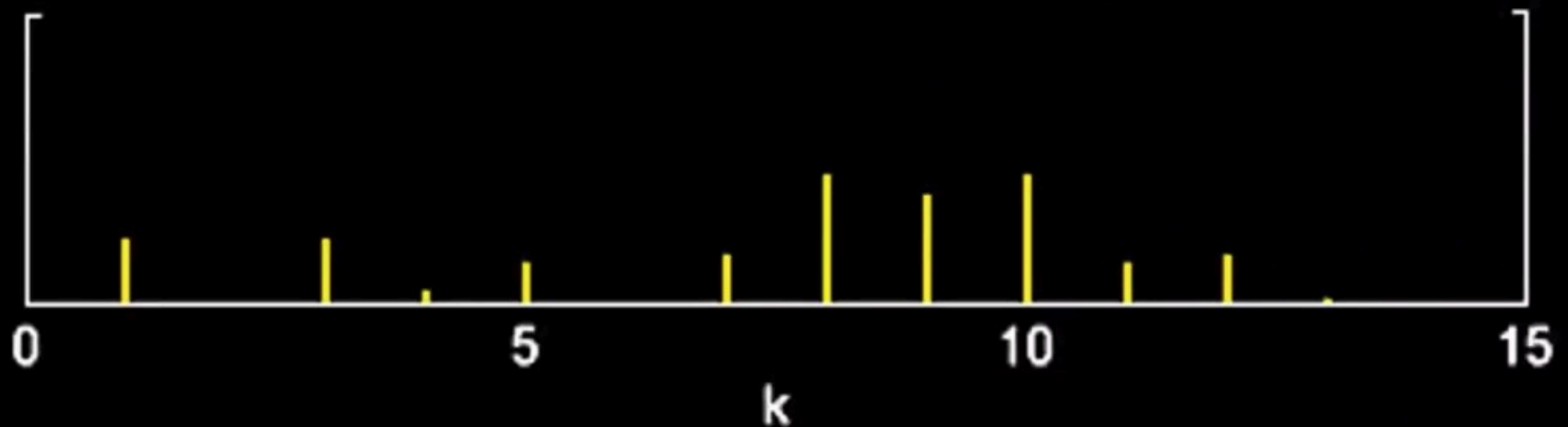


Oboe vs clarinetto (400 Hz)

Amplitude Spectrum of 400 Hz Oboe Tone



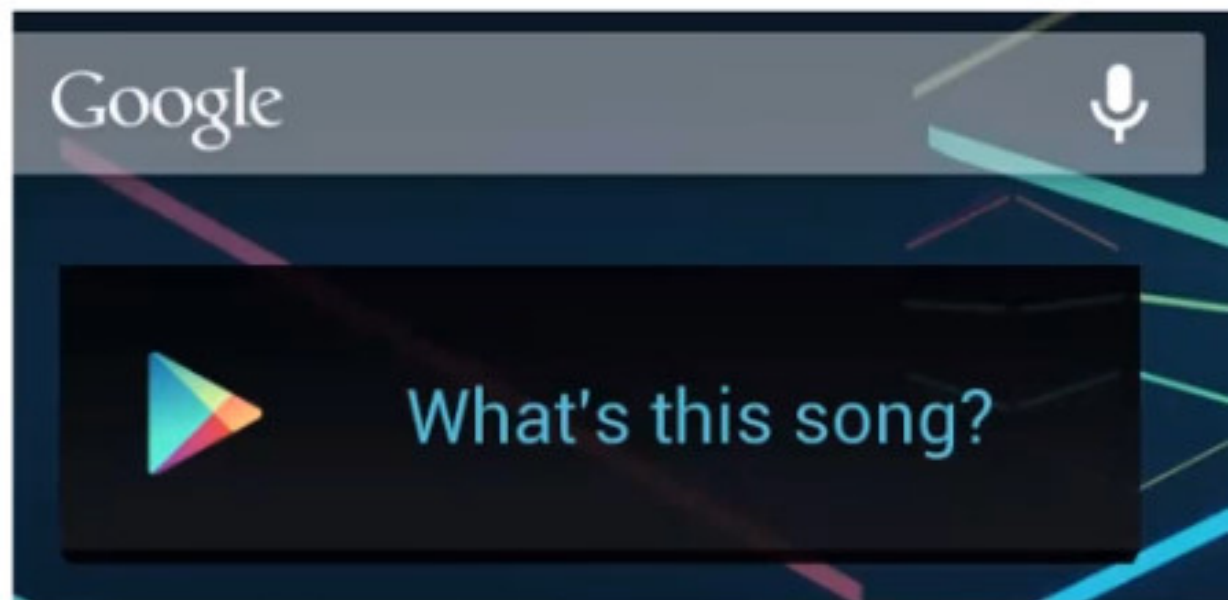
Amplitude Spectrum of 400 Hz Clarinet Tone



Casi più complessi: musica

- ◆ Spettro sparse (e 2)
- ◆ Spettro medium
- ◆ Spettro full smooth
- ◆ Differenze armoniche e timbriche nel tempo, in un genere comune...: vecchio, intermedio e nuovo.

Applicazioni "smart"...



Dopo le “note vere”...

- ◆ ... passiamo alle “dolenti note”: i problemi!



Attenuazione



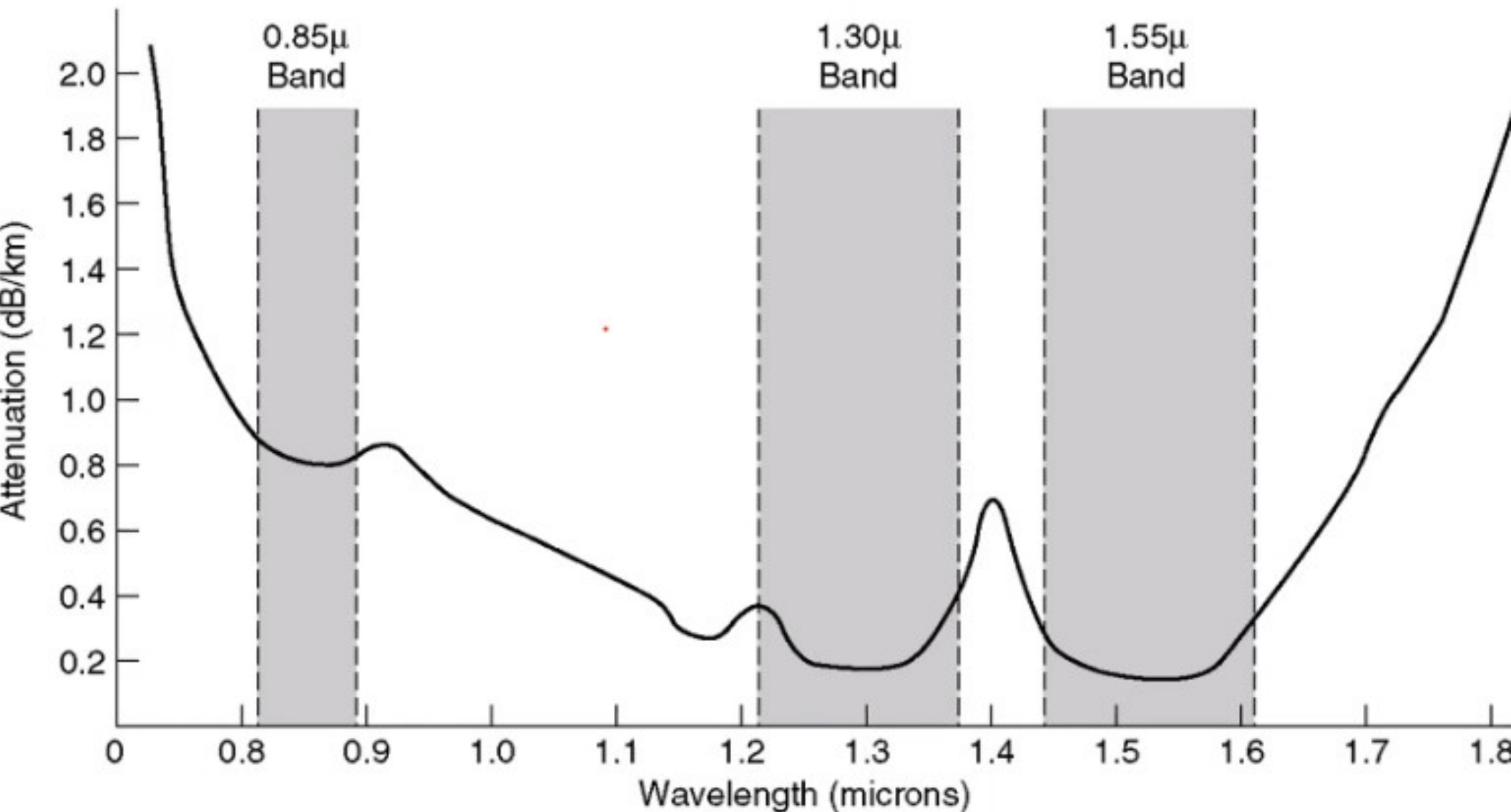
- ◆ Ogni impulso energetico trasmesso in un mezzo che non sia il vuoto subisce una ***attenuazione*** in potenza
- ◆ Attenuazione in decibel:
- ◆ $10 \log_{10} (\text{PotenzaTrasmessa} / \text{PotenzaRicevuta})$

La cosa brutta...



- ◆ L'attenuazione ***dipende dalla frequenza (!)***... quindi una forma d'onda in generale subisce attenuazioni diverse a seconda delle sue componenti nella trasformata di Fourier... (!!!!)
- ◆ → la **bandwidth** è **limitata** e dipende fortemente dal mezzo di trasmissione

Esempio per la Fibra Ottica: l'Attenuazione negli infrarossi



Torniamo al problema fondamentale...

- ◆ Fissata la bandwidth del canale, c'è un limite massimo alla quantità di informazione che possiamo trasmettere?
- ◆ Risposta: **SI!**

Teorema di Nyquist

- ◆ Il data rate massimo (bit al secondo) è:
- ◆ $2B \log_2 L$
- ◆ Dove B è la banda massima, e L i livelli del segnale che vengono usati
- ◆ Esempio nel telegrafo (L=2): il data rate massimo è 2B

Dal mondo ideale alla pratica...

- ◆ ... ancora peggio!
- ◆ Il Teorema di Nyquist vale per un canale ideale dove non ci sono ***interferenze*** (***rumore***).
- ◆ In generale però ci sono sempre interferenze (date dal mezzo di trasmissione e dall'ambiente)
- ◆ → c'è anche da considerare la potenza del rumore **R**

Segnale e Rumore

- ◆ Il rapporto tra la potenza del segnale (S) e la potenza del rumore del canale (N=Noise) si indica con **S/N**
- ◆ Spesso si indica anche in scala logaritmica usando i **decibel**, definiti come
 $10 \log_{10}(S/N)$
(simbolicamente, è detto l'**SNR**) RATIO

Caso limite col rumore?

- ◆ Si può generalizzare il Teorema di Nyquist tenendo anche conto del rumore?
- ◆ Si': Teorema di **Shannon(-Hartley)**
- ◆ Il massimo data rate (bit al secondo) è
- ◆ **$B \log_2 (1+S/N)$**

Approssimazione usando l'SNR in decibel

- ◆ Nel caso “ottimo” in cui c'è un altissimo S/N, si ha:
- ◆ Data rate max = (circa) **$B/3 * SNR$**
- ◆ Attenzione che sono data rate massimi, cioè i **massimi fisici**; raggiungerli poi in pratica è quasi impossibile.