

העולם העתיק והקלאסי

לפה"ס ועד המאה ה-5

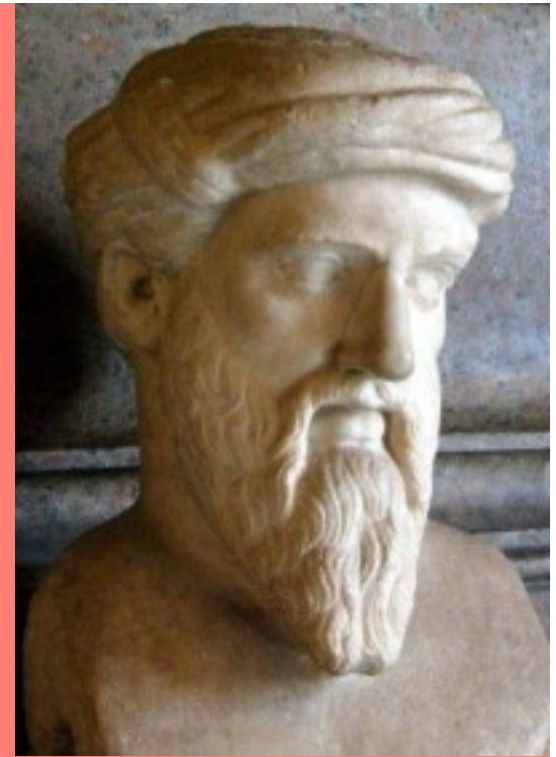
מכאניקה

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

מוזיקה

פיטגורס (570-495 לפה"ס) Pythagoras

תרומות של פיטגורס במתמטיקה, מוסיקה וכימיה



איזה כלי נגינה אתם מכירים מהעולם העתיק?

נבל, כינור, חליל, תוף, חצוצרה, שופר

מהו צליל?

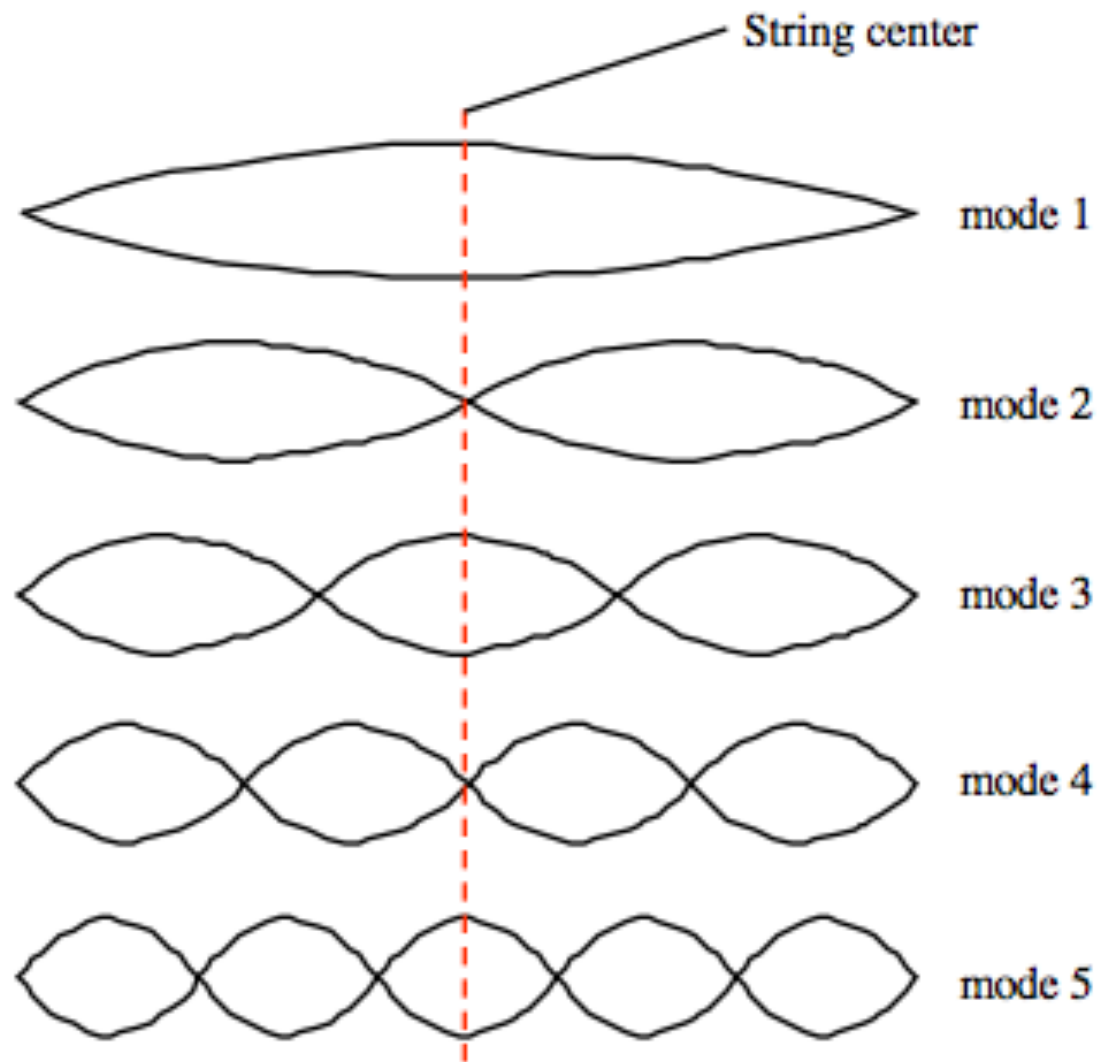
תנודה מחזורית של האויר

איך מפיקים צליל?

כלי פריטה
כלי נשיפה

תנודות מיתר

- מיתר מתנודד כך שקצותיו וכמה נקודות במרחקים קבועים לאורכו (Nodes) קבועים - מספר שלם של "אורכי גל"
- כל הצלילים שארכי הגל שלהם ביחס של מספרים שלמים (הרמוניות) נשמעים כאותו תו



מיחסים לפיטגורס יחסי מספרים שלמים בין תוים הרמוניים:
הצליל של מיתר בחצי אורך נשמע כצליל מיתר באורך שלם

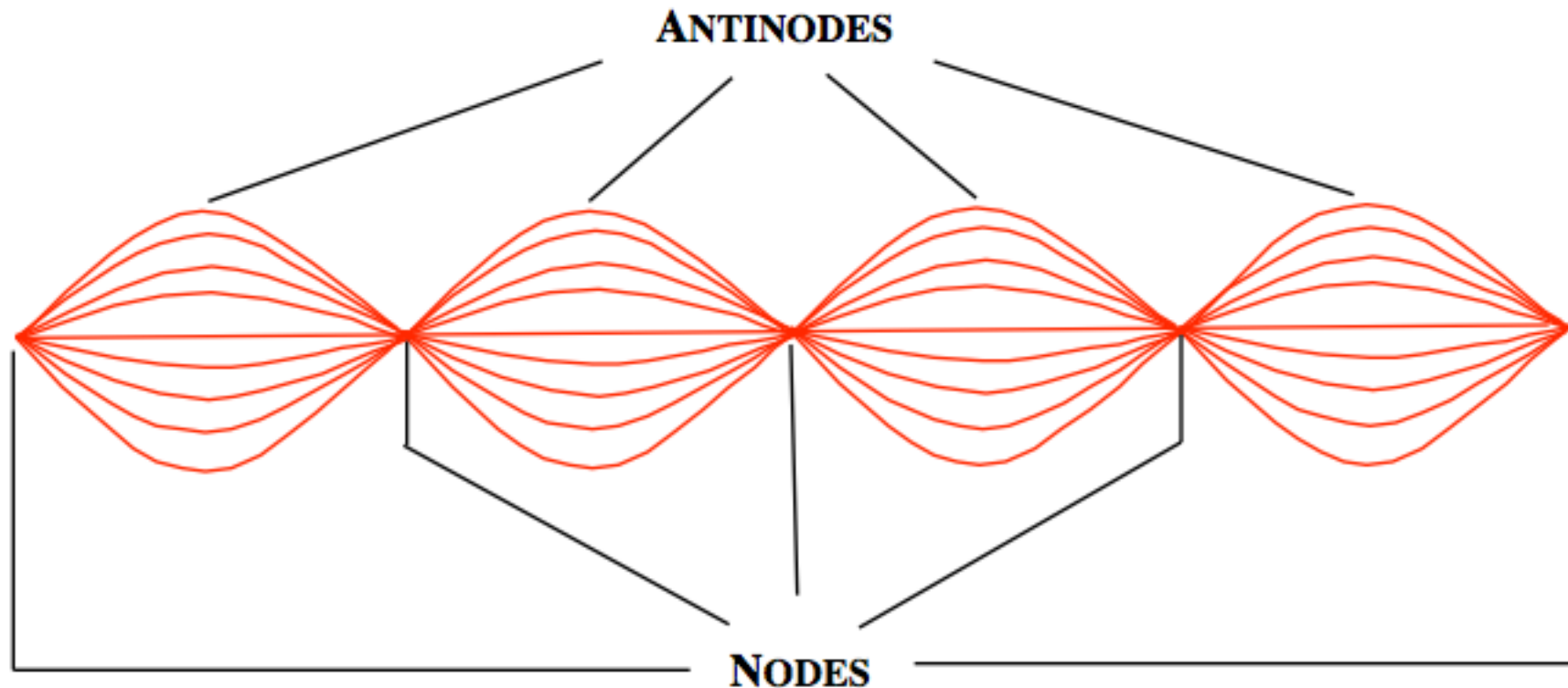


Figure 2.1: A time-lapse view of a standing wave showing the nodes and antinodes present. It is so named because it appears that the energy in the wave stands in certain places (the antinodes). Standing waves are formed when two waves of equal frequency and wavelength move through a medium and perfectly reinforce each other. In order for this to occur the length of the medium must be equal to some integer multiple of half the wavelength of the waves. In the case of this standing wave, the medium is two wavelengths long (4 half wavelengths).

תלמי - בהמשך לפיתגורס - הגדיר מרווחים בין צלילים על סמך יחסים - טטרהקורד ואוקטבה

הלמהולץ (Helmholtz) 1821-1894 ביסס את האנליזה הספקטראלית שלו על תנודות מיתר בנה רזונטור שגרם לגרם בל (שראה את הרישום אך לא הבין גרמנית) לפתח את שפורפרת הטלפון

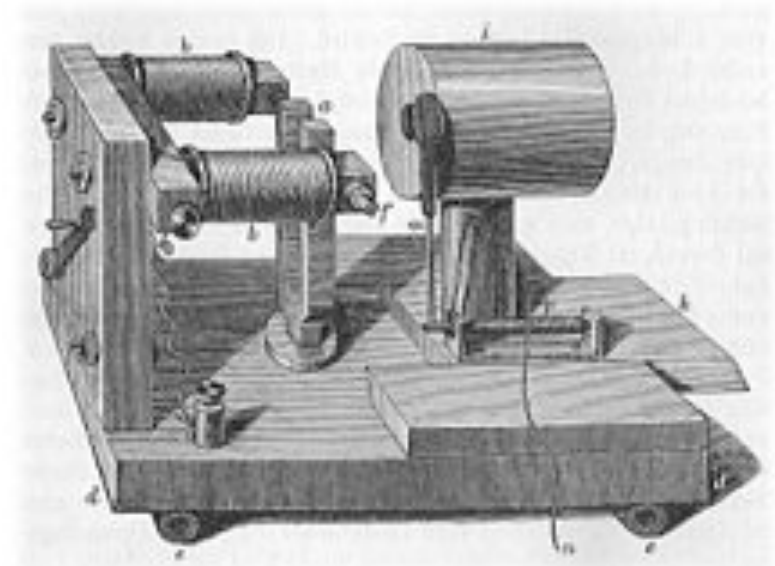
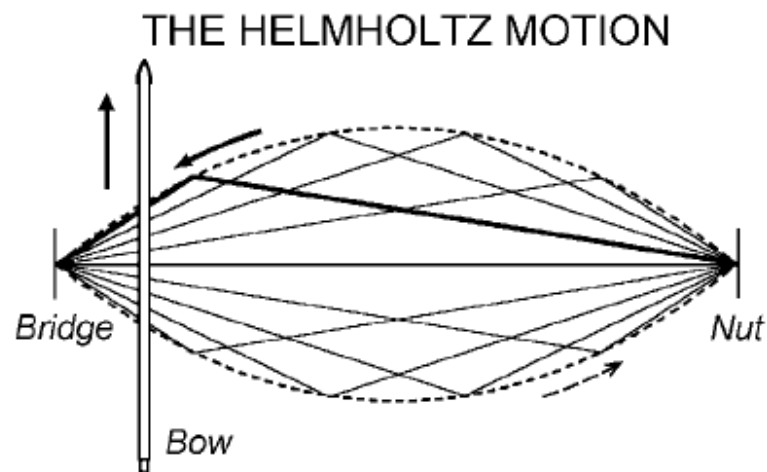
הדגמות: מיתר מתוח על מקל, ונוגע בקופסת תהודה: כינור

WaveWindow.dmg

ToneGen_i.dmg

./SciEdu/

אוסילטור במחשב:



יש קשר של יחס הפוך בין אורך המיתר, L לתדירות התנודה שלו, F

$$F = c/L$$

קבוע היחס תלוי במתיחות של המיתר: ככל שהמיתר מתוח יותר התדירות עולה

הדגמה בכינור

תנודות בעמוד אויר – חליל

באויר ה"מתיחות" היא קבועה (בלחץ וטמפרטורה קבועים) – דחיסות האויר ולכן התדירות תלויה רק באורך כלי הנשיפה

מדוע אם כן יש לכלי נגינה שונים אופי צליל שונה?

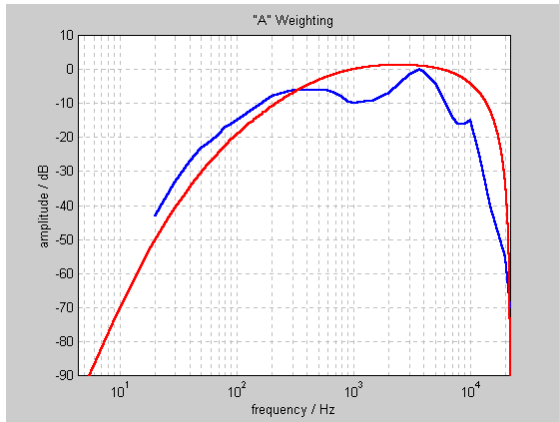
- עברו עוד הרבה מאות שנים שהבינו כי אופי הצליל תלוי בתכונות נוספות לתדירותו הבסיסית:
1. תדירויות ועוצמות ההרמוניות (overtones spectrum)
 2. התחלת, המשכיות ודעיכת הצליל (attack & decay)
- זה לפרקים הבאים

החושים שלנו לוגריטמיים: מבחינים בכפולות ולא בהפרשים. הדגמה לראיה ולשמיעה.

עצמת צליל נמדדת בדציבל =

נחזור לנושא זה בעתיד

רק נזכיר כאן שרגישותנו לצלילים תלויה בתדירותם – איננו שומעים צלילים נמוכים מאד גם לא גבוהים מאד (כלב שומע צלילים גבוהים מאיתנו – משרוקית כלבים)



Source of sound	Sound Intensity Level (dB)	Sound Intensity ($\frac{W}{m^2}$)
Threshold of hearing	0	1×10^{-12}
Breathing	20	1×10^{-10}
Whispering	40	1×10^{-8}
Talking softly	60	1×10^{-6}
Loud conversation	80	1×10^{-4}
Yelling	100	1×10^{-2}
Loud Concert	120	1
Jet takeoff	140	100

Table 1.1 Decibel levels for typical sounds

Frequency (Hz)	Sound Intensity Level (dB)	Sound Intensity ($\frac{W}{m^2}$)	Relative Sound Intensity
50	43	2.0×10^{-8}	13,000
100	30	1.0×10^{-9}	625
200	19	7.9×10^{-11}	49
500	11	1.3×10^{-11}	8.1
1,000	10	1.0×10^{-11}	6.3
2,000	8	6.3×10^{-12}	3.9
3,000	3	2.0×10^{-12}	1.3
4,000	2	1.6×10^{-12}	1
5,000	7	5.0×10^{-12}	3.1
6,000	8	6.3×10^{-12}	3.9
7,000	11	1.3×10^{-11}	8.1
8,000	20	1.0×10^{-10}	62.5
9,000	22	1.6×10^{-10}	100
14,000	31	1.3×10^{-9}	810

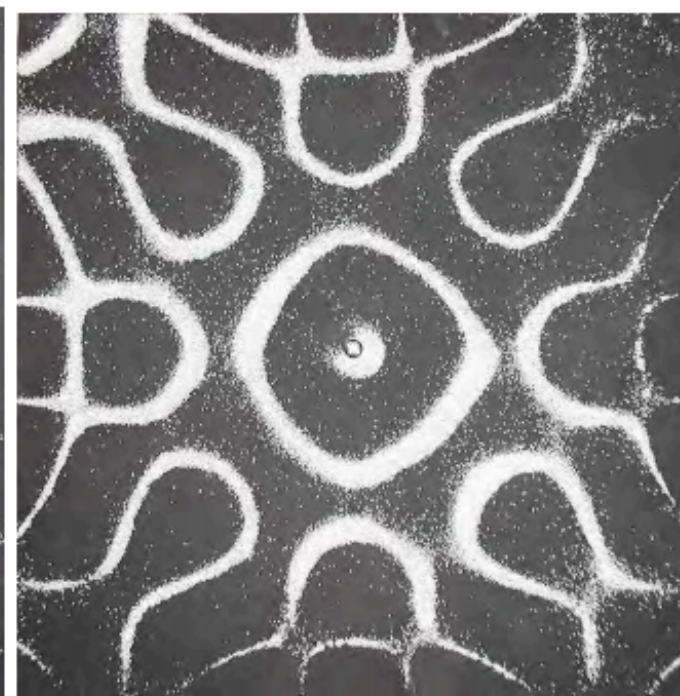
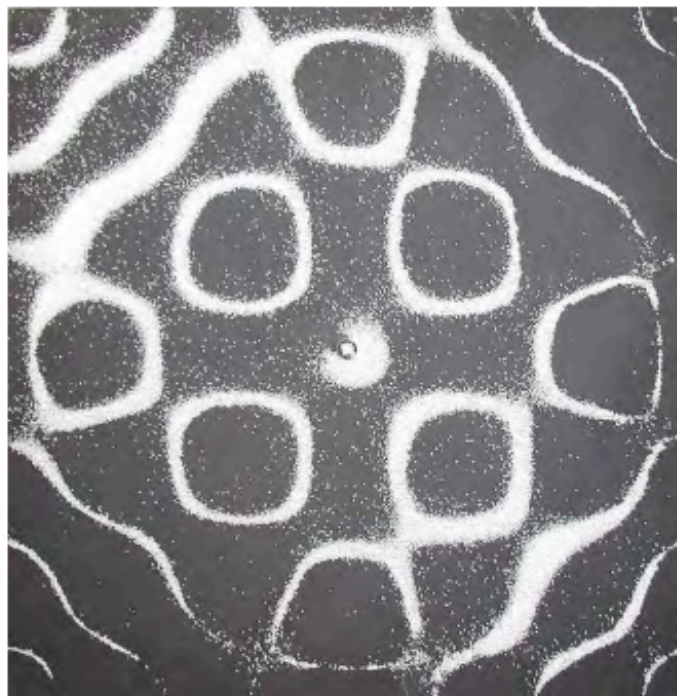
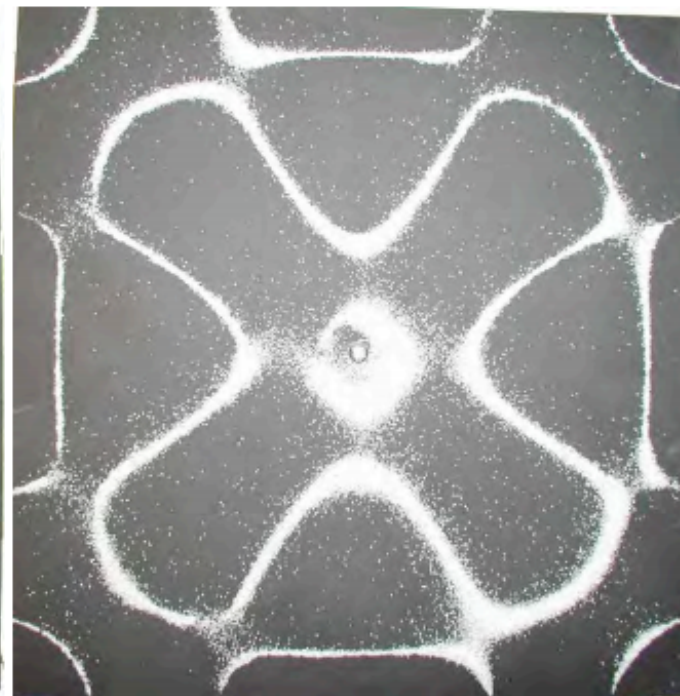
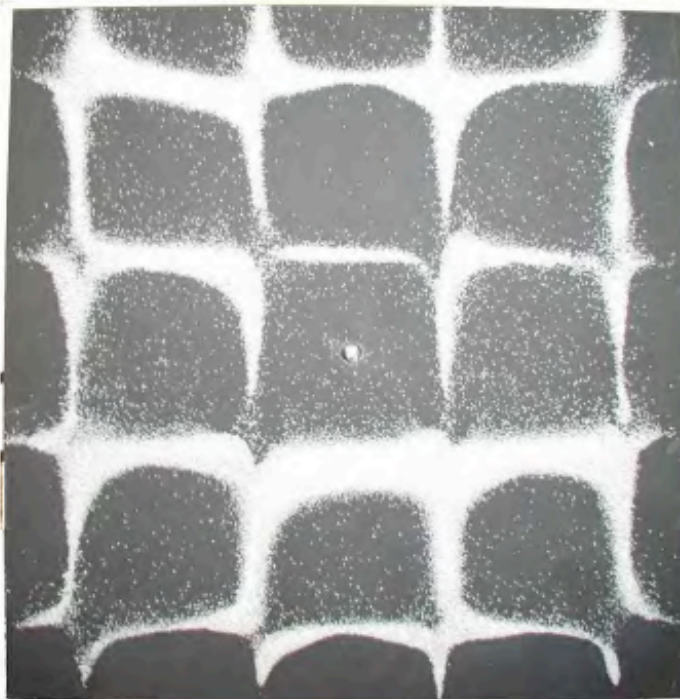
Table 1.2: Sound intensity and sound intensity level required to perceive sounds at different frequencies to be equally loud. A comparison of relative sound intensities arbitrarily assigns 4,000 Hz the value of 1.

תנודות תוף

הדגמה:
תיפוף עם חול

תיפוף במרכז
ובשפת התוף
יוצרים אופי צליל
שונה:

במרכז -
דגש על הרמוניות נמוכות
ליד השפה -
דגש על הרמוניות גבוהות



תנודות האויר בחליל

התנהגות דומה לתנודות לאורך השפורפרת בחליל (או המרחק בין החורים) אך בניגוד למיתר המקובע בשני קצותיו – הקצה בחליל – חפשי

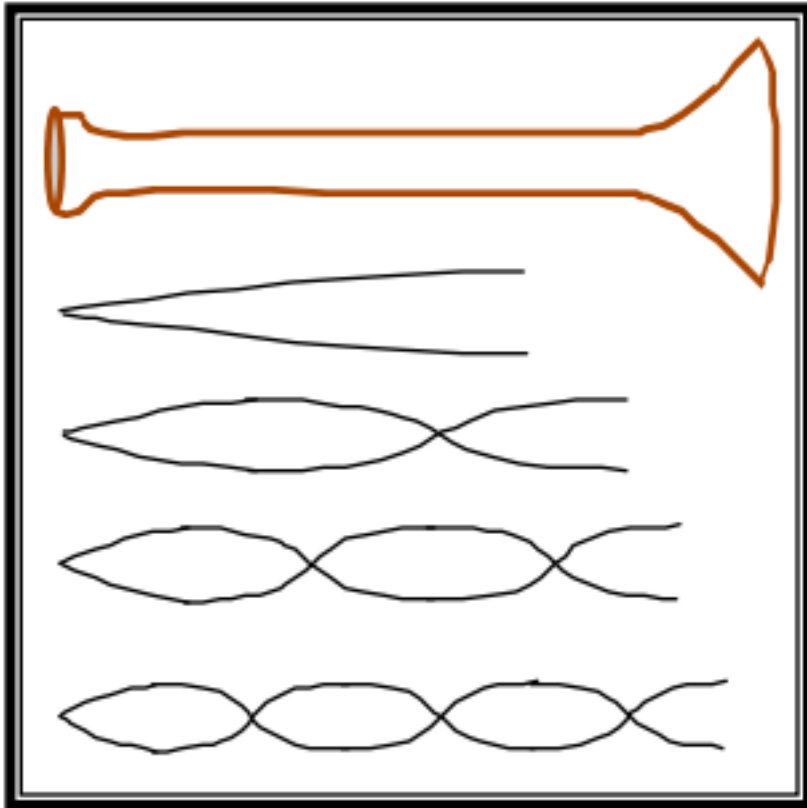


Figure 6.11: The bell of a brass instrument causes lower modes to reflect prior to reaching the end of the instrument. This smaller wavelength for the lower modes increases their frequencies, forcing them to approach the harmonicity of an open pipe.

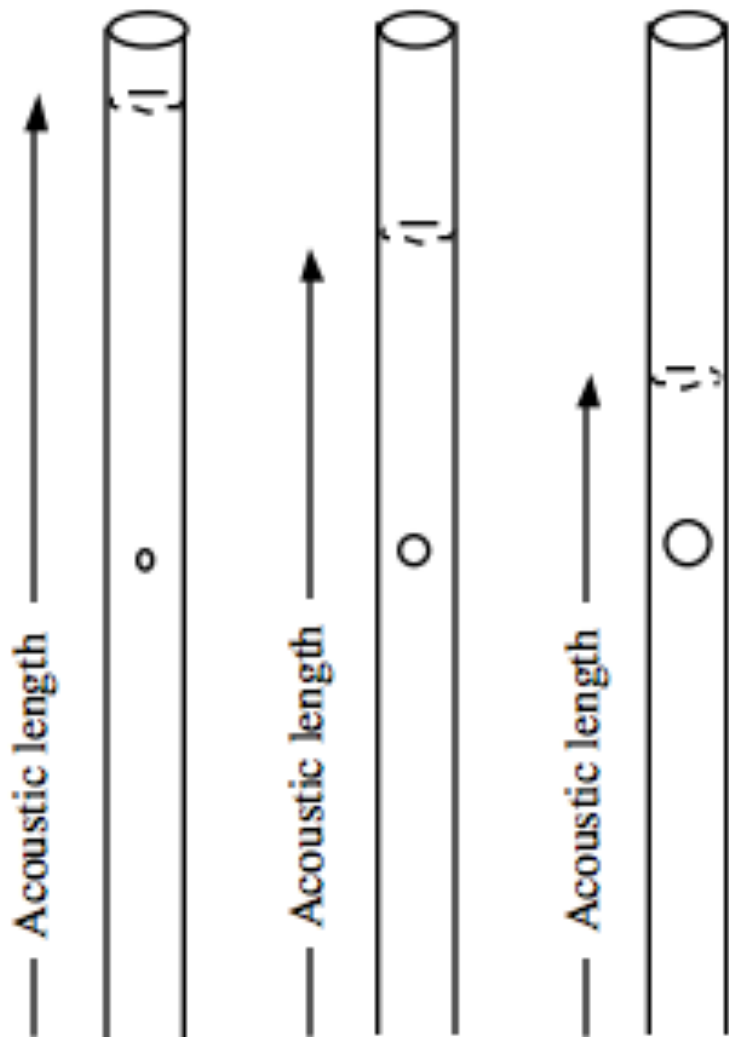


Figure 6.14: A hole drilled on the side of a pipe changes the acoustic length of the pipe. The larger the hole, the closer the acoustic length will be to the hole position.

הנקבים בגוף החליל

מזיזים את מיקום התנודה המירבית, ולכן משנים את גובה הצליל

הדגמה: שפורפרת קונדס מדוע המרחק בין הבוכנה הקבועה והמתנדנדת שווה $(n+1/2)\lambda$ ובחליל גובה הצליל (אורך הגל) תלוי בנקבים?

תהודה (רזוננס):

"רצון" להתנדנד בתדירות מסויימת: הדגמות על מוט גבוה המקובע בקצהו.
צעידת חיילים על גשר. תנודות גשר הזהב בסן פרנסיסקו בצעדת יום הולדתו ה-50 (נבנה 1937)

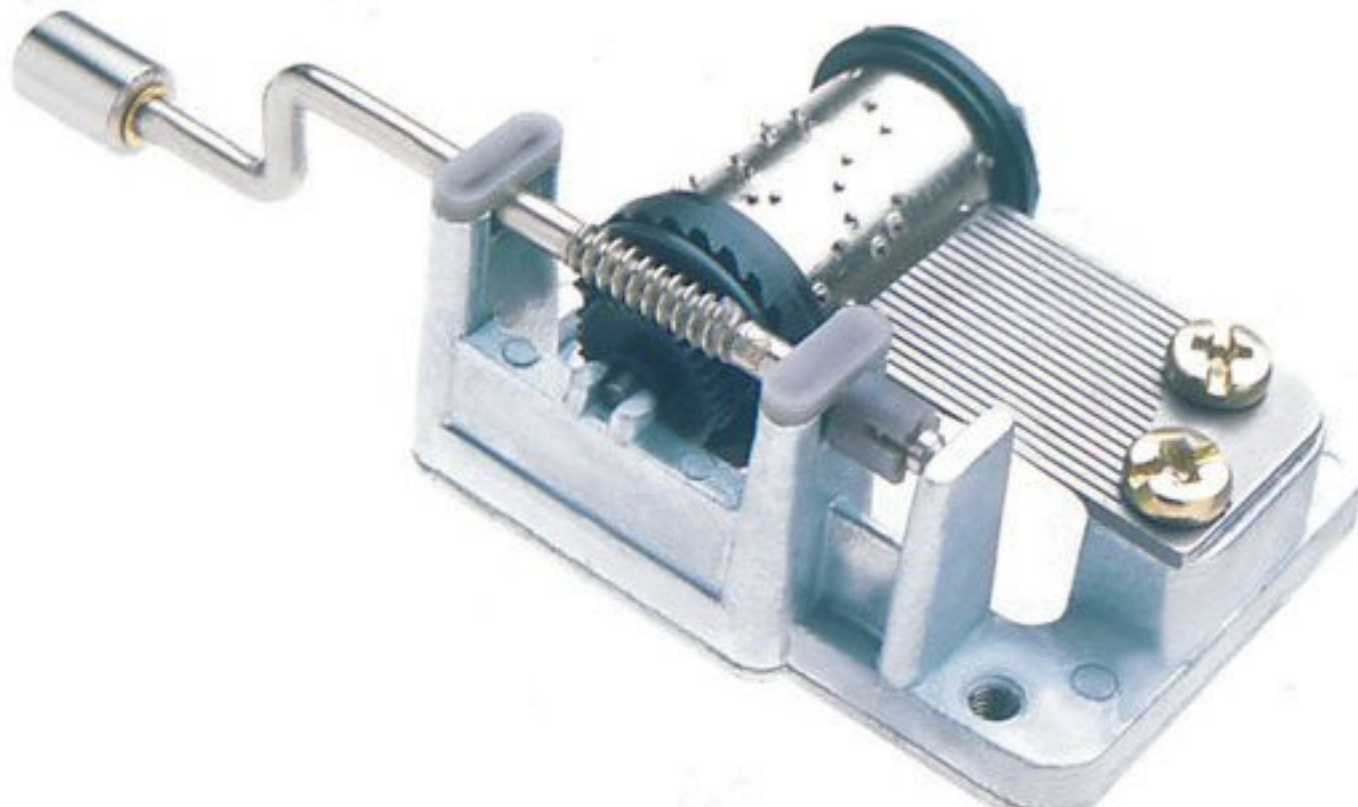


קופסת תהודה לכלי נגינה:

"לכינור, לתוף

מדוע לקופסת התהודה של הכינור אזורים רחבים וצרים?

הדגמה: הגברת צליל קופסת נגינה ע"י מגע בכנור, שולחן וכו'.

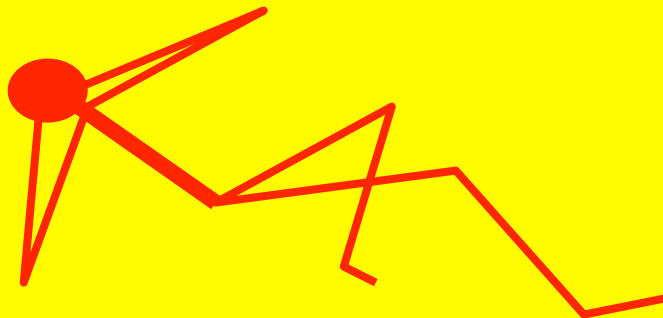


האופי של התקדמות הגלים (שיעור על שפת הים)

גלים מישוריים

גלים מעגליים

מה שנראה בבירור בגלי הים
לא נראה בקלות בגלי אור
עד המאה ה-17



דינאמיקה

תנועה

350 לפה"ס אריסטו **Aristotle** טוען נגד לوسیפוס **Leucippus** שלא ייתכן קיום ואקום בואקום גופים יוכלו לנוע במהירות אינסופית מחסר התנגדות האויר...

חוקי התנועה של אריסטו: (כבר קישר בין תנועה שמימית לארצית)

1. גופים כבדים יותר נופלים מהר יותר – המהירות יחסית למשקל (נוצה מול אבן ...)
2. מהירות הנפילה יחסית הפוך לצפיפות התווך בו הגוף נופל (נפילה באויר, במים ובשמן)
3. כוכבי הלכת עשויים מאתר שתנועתו הטיבעית מעגלית.
4. הארץ עגולה – ותעצר אם לא יפעל עליה כוח. (מהירות יחסית לכח).

268 לפה"ס נפטר סטרטו (**Strato** או **Straton**) "הפיסיקאי": הראשון שטען שגופים נופלים מואצים בנפילתם. הסתמך על אבחנתו כי נפילת זרזיף מים ממרזב מתחילה במהירות איטית ומואצת עד שהזרזיף נשבר לטיפות.

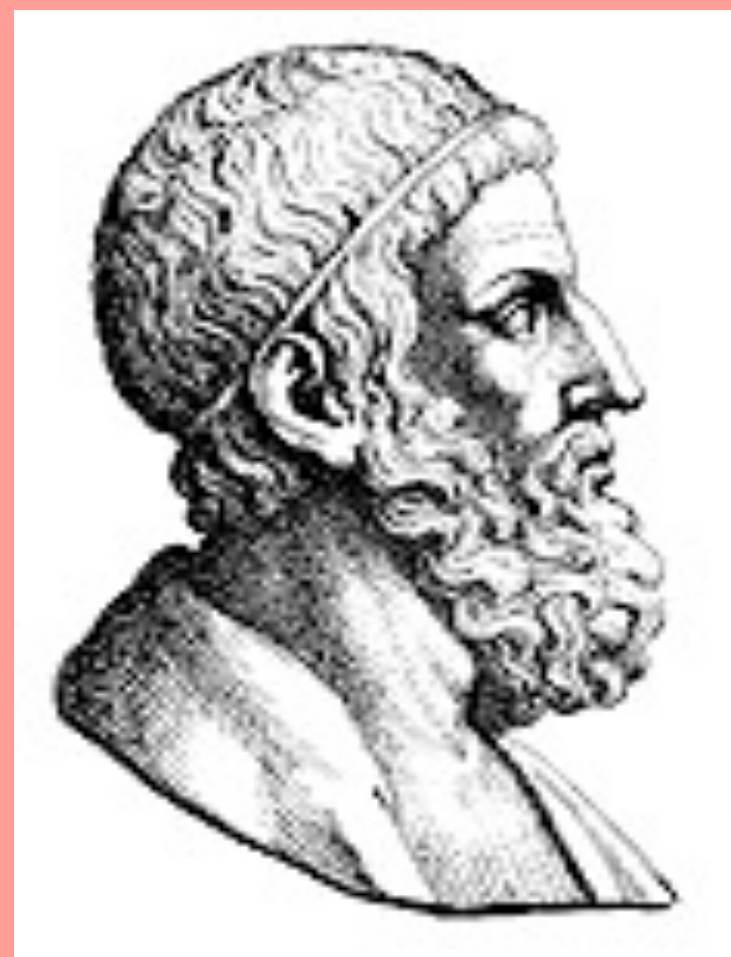
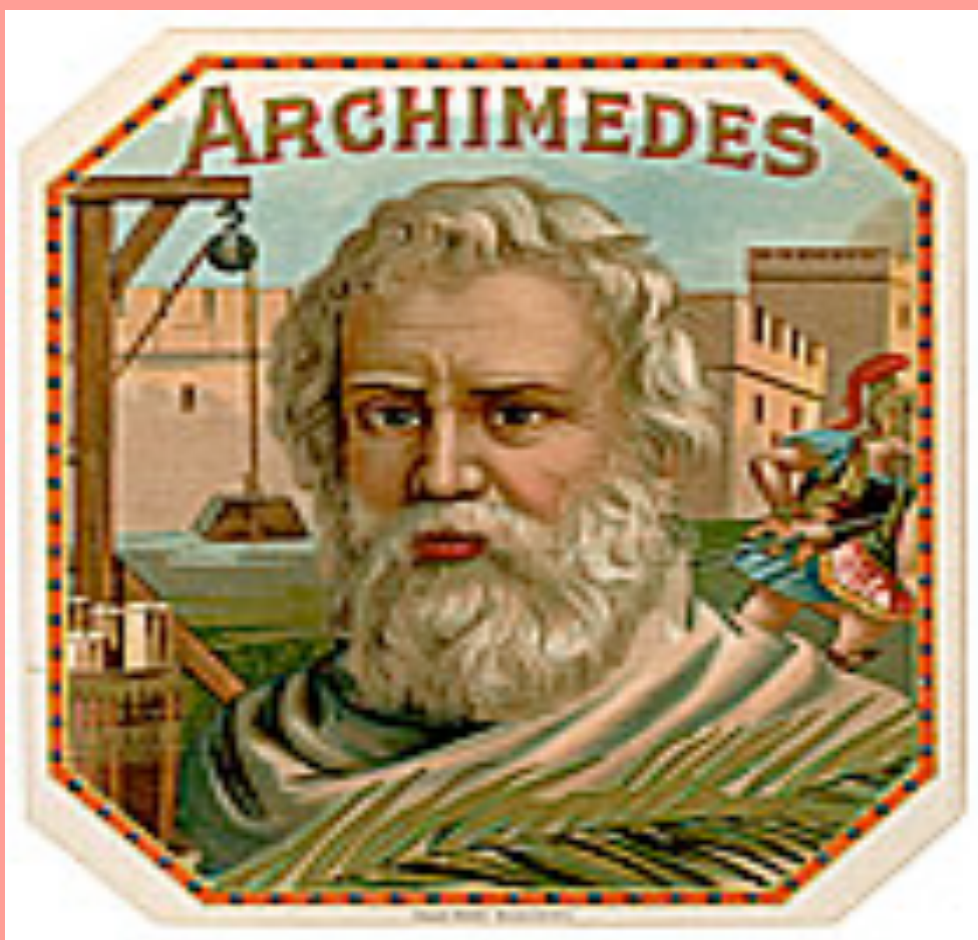
הדגמת תנועה במישור משופע – מדוע הנסיונות לא נעשו ע"י הקדמונים?

הקטנת החיכוך בגרירה דורש משטחים וכדורים בעיבוד חלק, חיכוך בתנועה בנוזל, חיכוך האויר, מומנטום סיבובי ולא רק קוי.

הניסוח הנכון של חוקי התנועה: גלילאו גליליי – ניוטון – אינשטיין

Archimedes ארכימדס (287-211 לפה"ס)

נולד בסירקוס, עיר יונית עצמאית בסיציליה בעלת היסטוריה של 500 שנה. אביו פידיאס היה אסטרונום כנראה קשור למלך הירו השני. למד באלכסנדריה, מתלמידיו של אוקלידס. נערץ עקב תושיתו בהמצאות להגנת סירקוס מהרומאים במלחמות הפוניות, אך נהרג בטעות ע"י חיל רומאי לאחר כיבוש העיר למרות פקודת המפקד הרומי לשמור עליו. לפי האגדה נזף בחייל שהסתיר לו את אור השמש כשרטט בעיה בגיאומטריה על החול.

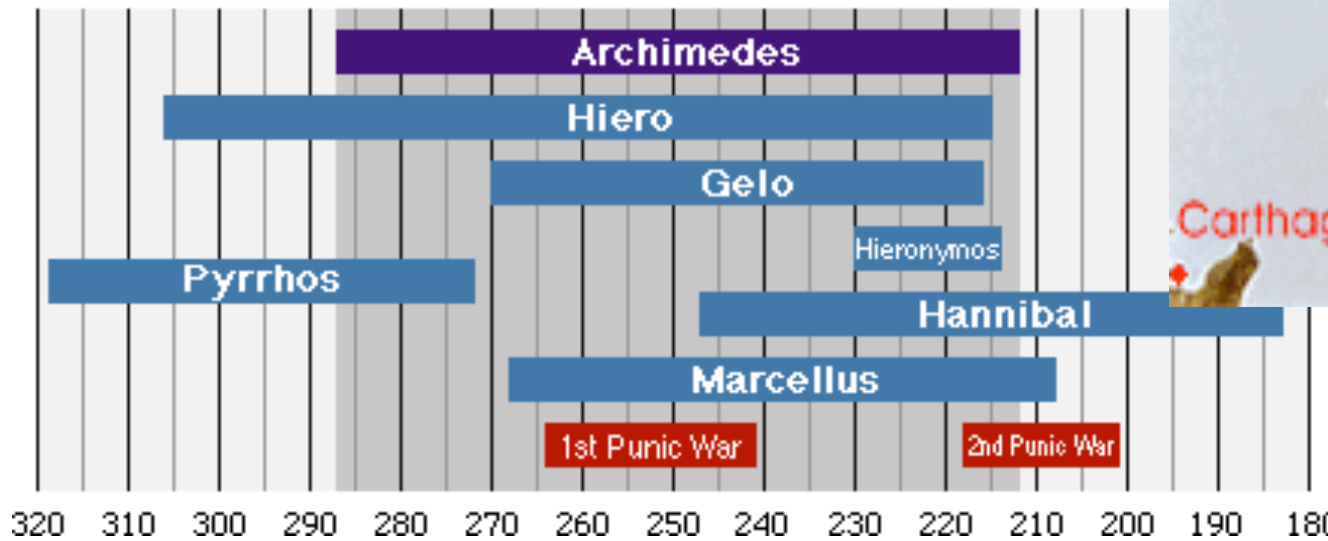


המלחמות הפוניות

המלחמה הפונית הראשונה: סירקוס, מושבה של יונים מקורינטוס בשיתוף עם קרטגו-המושבה הפיניקית בצפון אפריקה, נגד השבטים הלטינים ברומא - מלחמה לשליטה על סיציליה.
המלחמה הפונית השנייה: חניבעל משתלט על קאן, חוצה את האלפים עם פילים ומגיע לרומא כשאנשי סירקוס הם בני בריתו אך הרומאים ממגרים אותו.
המלחמה הפונית השלישית: נגמרת בהשמדת קרטגו 146 לפה"ס ע"י רומא.



320 310 300 290 280 270 260 250 240 230 220 210 200



3rd Punic war

149-146

עבודותיו של ארכימדס

ספר על בעיות ושיטות במכאניקה "On the method of mechanical problems"
פרקי הספר:

סטאטיקה (חוק המנוף)

על גופים צפים: הידרוסטטיקה

על מדידות נפחים וצפיפויות (פיקנומטריה)

שוי המשקל למישורים (מרכזי כובד של צורות גיאומטריות)

הכדור והצילינדר

מדידות המעגל

ספירלות, ספרואידים וקונוסים

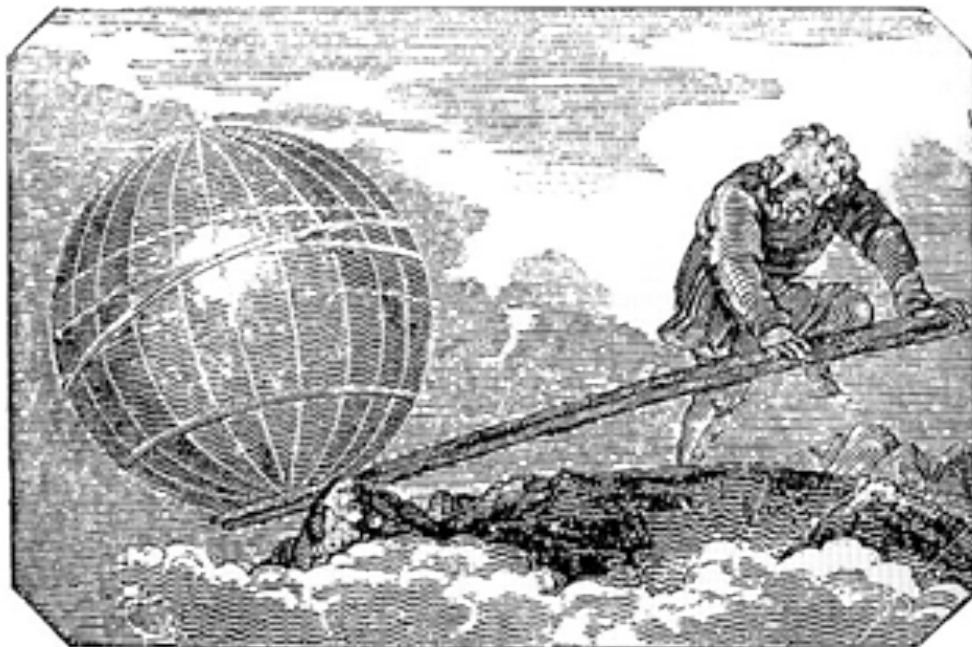
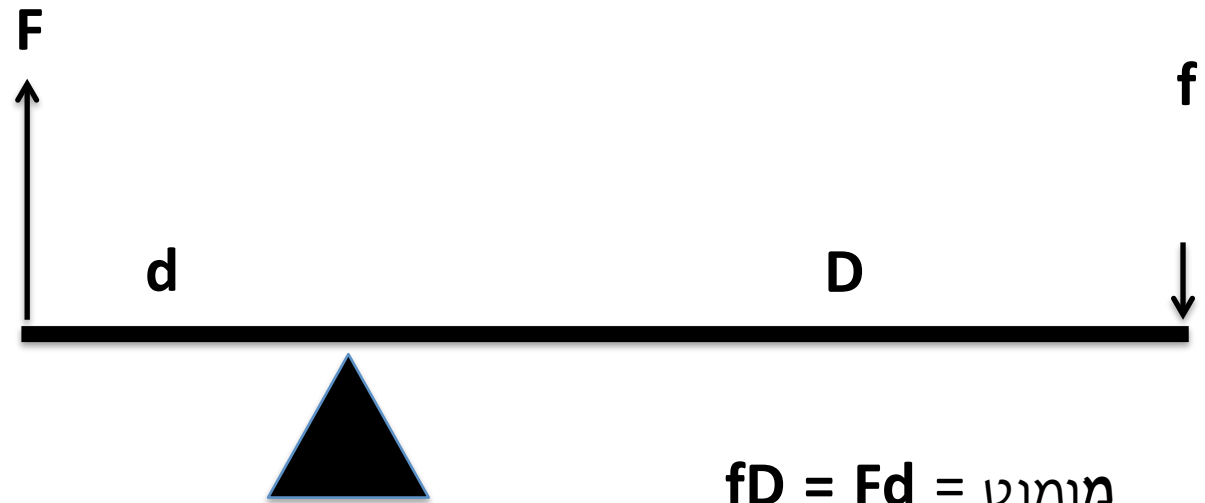
פראבולה Quadrature of the parabola

אבי החשבון האינטגרלי

אבי הפיסיקה המתמטית

המנוף

“Give me a place to stand on, and I can move the earth.” ארכימדס אמר
“תנו לי נקודת משען ואניף את עולם”



הדגמה: מנוף-מאזניים

מלתעות ארכימדס - שימוש בחוק המנוף



260 לפה"ס ארכימדס מנסח חוקי המנוף והציפה

לפי התיאור של ויטרוביוס - ארכימדס זיהה את הזיוף בכתר הזהב של מלך סירקוס הירו השני. הרעיון בא לו כשטבל באמבט ולפי הסיפור רץ החוצה ערום וצעק - מצאתי : "Eureka"

-Eureka!



חוק הציפה של ארכימדס: גוף השקוע בנוזל מאבד ממשקלו כמשקל הנוזל שהוא דוחה

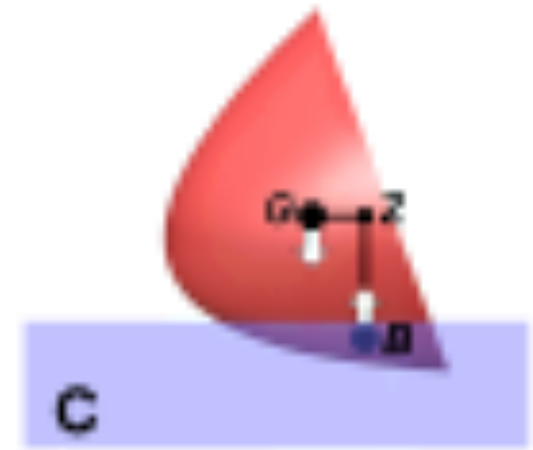
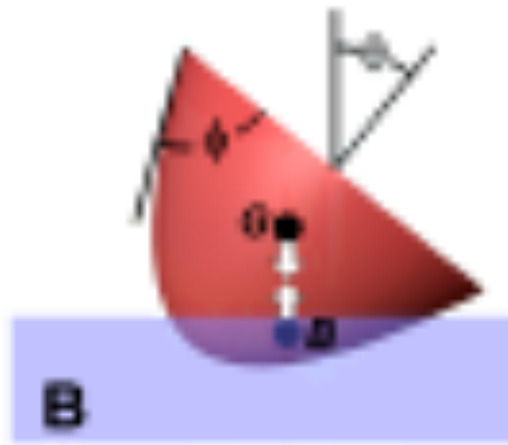
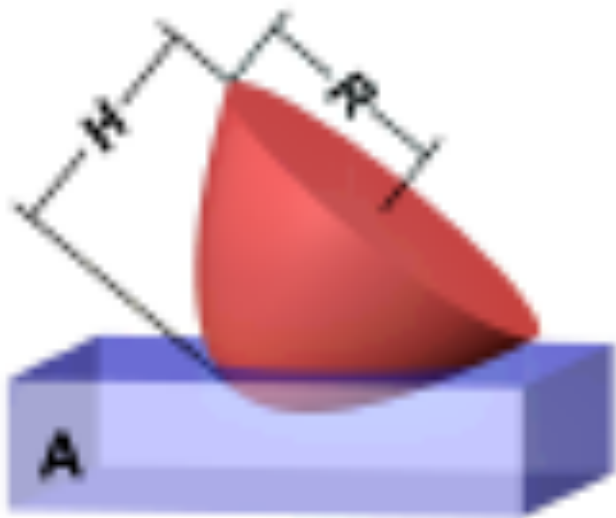
פליני מתאר את הגרסה של ויטרוביוס לפתרון ארכימדס להרכב של כתר המלך הירו כך: ארכימדס השקיע מטיל זהב נקי כמשקל הכתר במיכל מים מלא עד גדותיו ונתן למים לגלוש. אח"כ הוציא את הזהב הנקי היכניס את הכתר ומצא שעוד מים נשפכו מהמיכל. (מאחר והמתכת בתוכו של הכתר היתה בצפיפות נמוכה מזהב ולכן נפחה במשקל שווה לזהב היה גדול יותר). האם זה יתכן?

נניח שהכתר שקל 1000 גרם והושקע במיכל בקטר 20 ס"מ (שטח 314 סמ"ר) צפיפות זהב 19.3 גר"לסמ"ק-נפח הכתר 51.8 סמ"ק-הוא יעלה את גובה המים ב-0.165 ס"מ נניח שהצורך הרמאי החליף 300 גרם זהב בכסף שצפיפותו 10.6 גרם לסמ"ק נפח הכתר המזויף $= 300 / 10.6 + 700 / 19.3 = 64.6$ סמ"ק וירים את גובה המים ב-0.206 ס"מ - 0.41 מ"מ יותר מכתר זהב טהור - הפרש קטן מידי לנוכח טעויות: בועות אויר נספחות לכתר כשהוא מוכנס למיכל, מים מרטיבים את הכתר כשהוא יוצא העודף הקטן של המים לא נשפך מהמיכל בגלל מתח פנים.

נראה שמה שעשה ארכימדס הוא לאזן במאזנים את משקל הכתר מול מטיל זהב נקי ואז להשקיע את הזהב והכתר במים ולגלות שבגלל הנפח הגדול יותר של הכסף כוח הציפה של הכתר הפחית משקלו יותר מזה של הזהב (בדוגמא למעלה ב-12.8 גרם)



ארכימדס לא רק מצא את ירידת המשקל של גוף המושקע במים אלא גם הגדיר שכוח הציפה פועל במרכז הכובד של המים שנידחו. זה הכוח המייצב ספינה במים: אם שמים בקרקעיתה משקל (כגון חול) מרכז הכובד שלה יורד וגורם לייצבה.



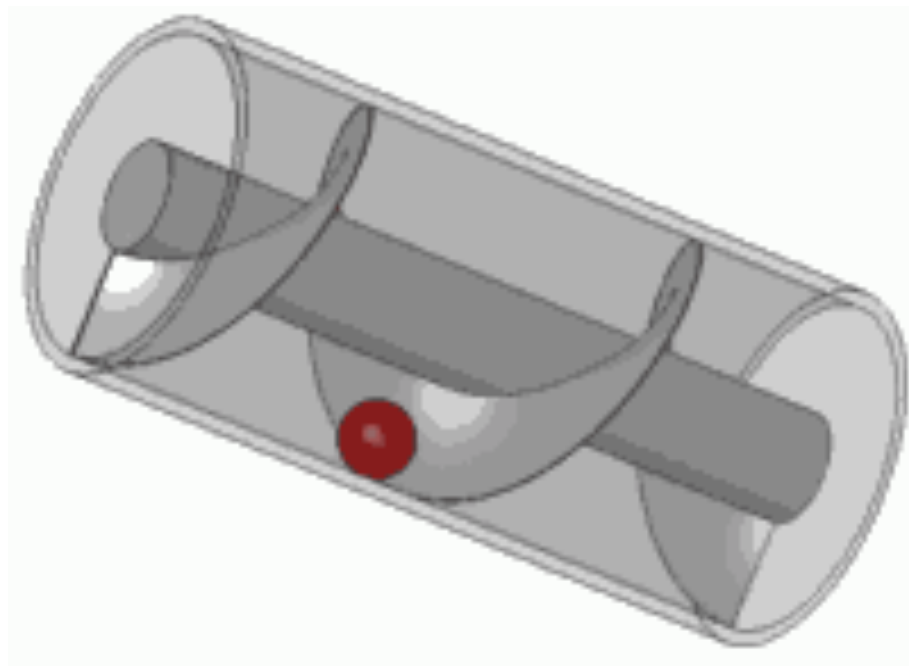
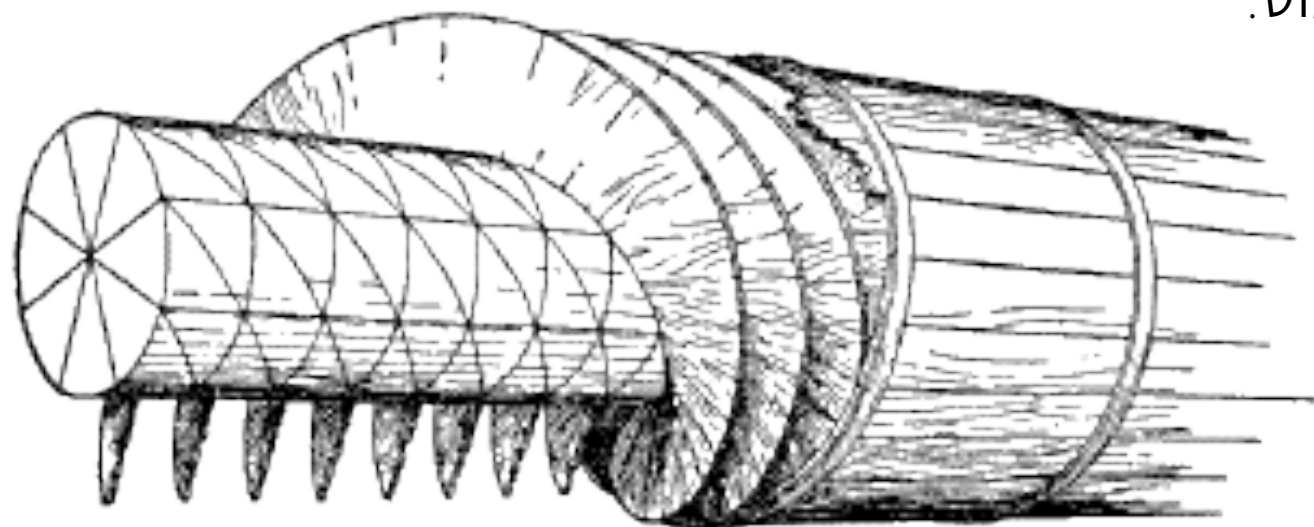
הדגמה: ציפה או התהפכות

סיפור הספינה של הואזה השבדי: 1676 תוכננה לגובה כדי להאריך את טווח התותחים שלה, אך כשיצאה ממפרץ שטוקהולם הגלים הפכו אותה והיא שקעה בנסיעתה הראשונה... כנראה לא הטעינו את קרקעיתה במשקל הפגזים המלא שהיה צריך לייצבה כמתוכנן... היא נמשתה ממפרץ נמל שטוקהולם לפני כשני עשורים ומוצבת כיום במוזיאון.



בורג ארכימדס

שימש לשאיבת מים מהנילוס.

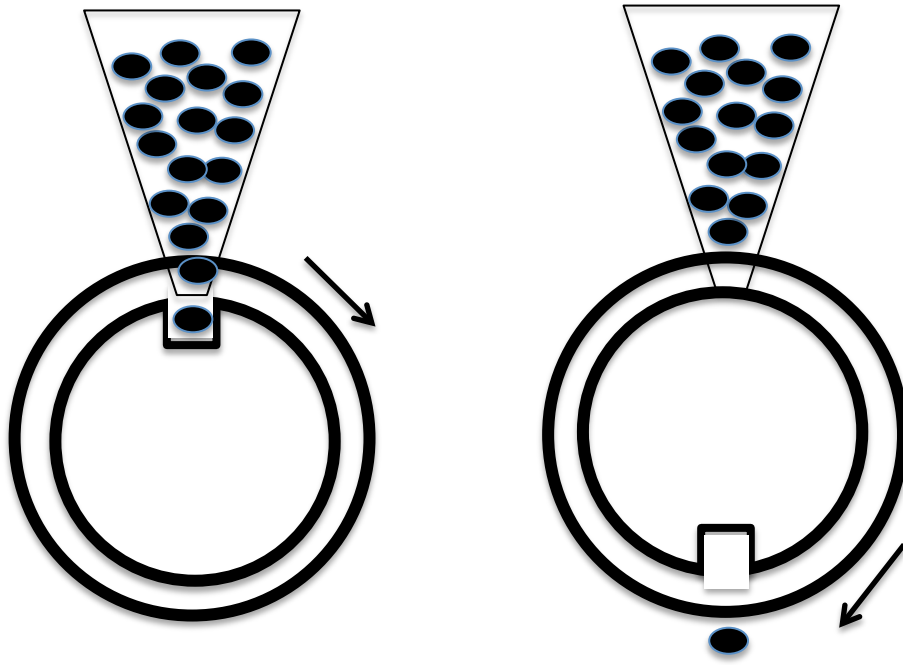


אודומטר - מודד מרחק נסיעה

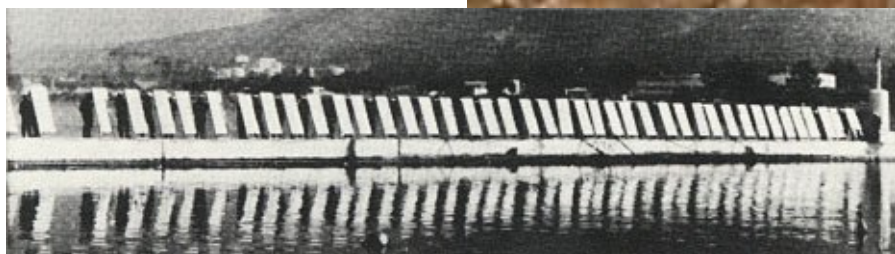
סידור שאוסף חלוק נחל בודד ממיכל חזוק אותו בכל סיבוב.

מספר הסיבובים כפול הקף הגלגל = אורך הדרך

כנראה שימש את ארטוסטנס למדידה מדוייקת של המרחק בין אלכסנדריה לסיין, ראה (אסטרונומיה)



הצית אש במפרשי הספינות הרומאיות שצרו על סירקוס ע"י החזרת קרני השמש ממגינים שהוברקו. כנראה הספור אינו נכון, כי היה צריך למקד אנרגית שמש רבה ממה שיתנו עשרות או אפילו מאות מגינים.



ארכימדס השתמש בשיטות של אינפי (חשבון דיפרנציאלי ואינטגרלי)
וסכומים אינסופיים מתכנסים וחישוב:
מרכזי כובד של צורות, הקף המעגל,
נפחים של גופי סיבוב

נחזור לנושאים אלה (ראה בהמשך - מספרים 2)

תעופה

תעופה

השאיפה לעוף כציפור מלווה את ספורי ההסטוריה העתיקה:
1500 לפה"ס איקרוס ובנו דדלוס עפים מכלאם בכרתים בעזרת כנפי נוצות מודבקות בשעווה
1000 לפה"ס מכונת תעופה הנקראת וימנס (Vimanas) מוזכרת בוודס (Vedas) ההודי
800 לפה"ס המלך בלדוד (Bladud) מנסה לרחף מעל טרויה החדשה ונופל אל מותו
500 לפה"ס הסינים בשנדונג משתמשים בעפיפונים למשחק, לריחוף אדם (מו זי, Mu Zi לו בן
Lu Ban עפיפון העץ השחור) למיפוי במחוז Qufu, (עיר הולדת קונפוציוס 551-479 לפה"ס)
לאיתות ולניווט וב-200 לפה"ס למציאת מרחק וגבה (מזוית הראיה)

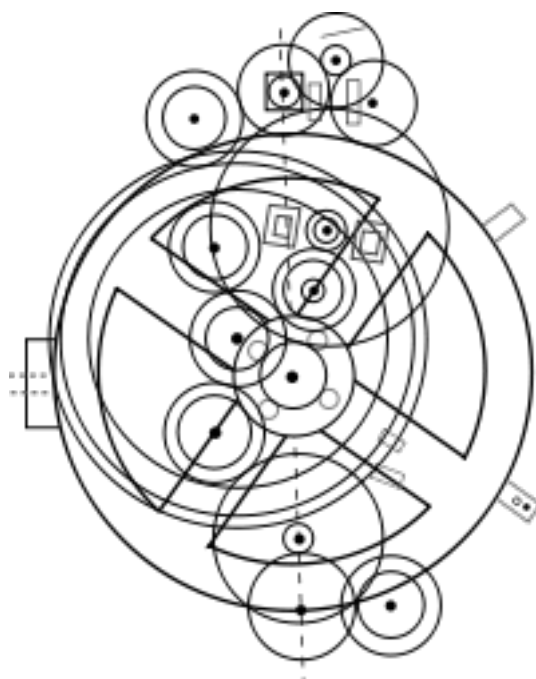


400 לפה"ס היונה של ארציטס (Archytas of Tarentum) כנראה עפיפון
200 לפה"ס הסינים ממציאים בלון אויר חם עשוי מניר: פנס קונמינג Kongming lantern
שימוש לחגיגות, למשלוח מסרים מעיר נצורה, ועוד.

שעונים

מכונת האנטיקיטרה - מנגנון 30-70 גלגלי שיניים לתיזמון אסטרונומי ומיקום השמש, הירח (אולי גם ליקויים) ו-5 כוכבי הלכת. נחשף בספינה יוונית שטבעה.
דווח אצל פליני שארכימדס בנה מכונה כזו (פלנטריום) ויתכן שמכונת זמן זו היא העתק המנגנון של ארכימדס

Antikythera mechanism 150-100 BC (orrery planetarium)
פלנטריום - היה נפוץ בימי הביניים.



270 לפה"ס סטסיביוס Ctesibius בונה שעון מים פופולארי - קלפסידרה (clepsydra) שעונים (כרונומטרים) ימיים - 1737 John Harrison

נסו לבנות שעון: שעון מטוטלת, שעון שמש, שעון חול, שעון מים.
מה הבעיות המגבילות דיוקם של שעונים אלה? ומדידת זמנים ארוכים?
מדוע קשה להשתמש בהם בספינות, שדווקא שם הדיוק בקביעת זמן קריטי?

מה הבעיות בשעוני מים וחול?

איך למדוד זמנים ארוכים?

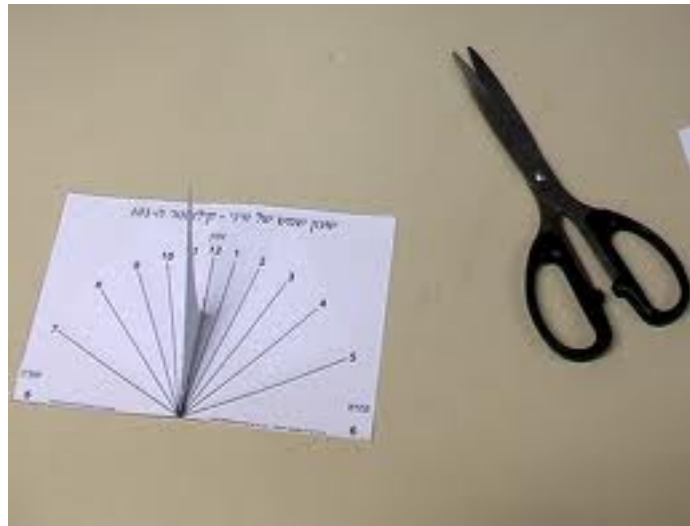
שעון חול - להפוך בדיוק כל שעה...
שעון מים - הקצב אינו אחיד כי תלוי בכמות המים במיכל העליון,
מה שלא נכון לחול בגלל החיכוך בין הגרגרים.

מה הקושי בבנית שעוני מטוטלת?

מטוטלת קוית? איך "לצבור" את מספר התנודות לזמן ארוך? גלגלי שיניים. מטוטלת זוויתית? תלות המחזור בטמפרטורה (מדוע?) ולבסוף - אינם שימושיים על אוניה בלב ים.

שעון שמש הראשון: אובליסק, אולי גם StoneEdge
למקל אנכי - "מהירות" הצל לא קבועה על הקרקע ותלויה
בעונת השנה. לכן שימוש בסקלה במישור נטוי
(מה הזווית?)

מקל המכוון לכוכב הצפון - אורך הצל תלוי בעונת השנה
אך מהירותו קבועה על משטח אנכי לו



מגנטים וחשמל

מגנטים וחשמל – כוחות המופעלים מרחוק

איזה עוד כוח המופעל מרחוק אתם מכירים? מדוע לא הגדירו הקדמונים את הגרויטציה?

מגנטים נמצאו בטבע – אבני לוד Lodestone – מינרלים המכילים תחמוצת ברזל פרימגנטיות שאולי מוגנטו ממכת ברק

במצרים נקראו "עצם של הרוארי" Haroeri נכדו של אל הארץ.

ביון (תיאור של פליני) 900 לפה"ס מגנס הרועה עובר בהר של סלעים שחורים ומסמרי סנדליו נשלפים – המקום נקרא לכן מגנזיה.

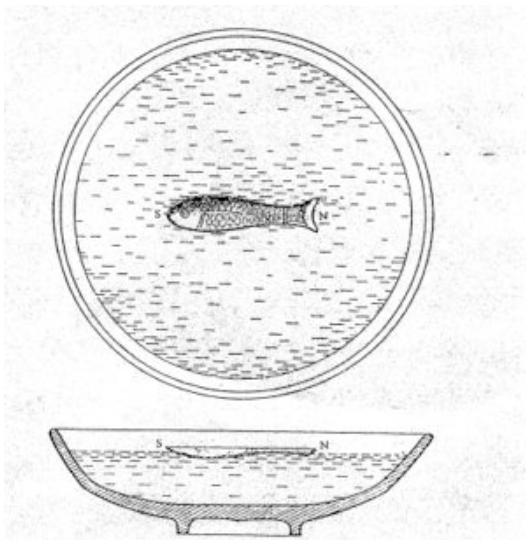
תלס 636–546 לפה"ס Thales מאמין שלמגנטים נשמה.

600 לפה"ס תלס משפשף ענבר (Electron ביוונית) בפרוות חתול ומושך פתיתי נוצות אינו מבדיל בין כוח חשמלי ומגנטי.

אריסטו 384–322 לפה"ס Aristotle איחוד המניע והנע בתוך אתר – הסבר לכוח מגנטי מרחוק. מאיה אגדות על אבנים מושכות מהתקופה הטרומ קולומביאנית.

סין מגלים שמגנטים נוטים בכוון קבוע צפון-דרום.

1040 **וו צינג צונג יאו** Wu Ching Tsung Yao מתאר חימום וקירור ברזל ליצירת מגנט.



1088 **שן קווא** Shen Kua בונה מצפן ממגנט תלוי שעוזר בנווט ספינות.

*** אדמיראל סיני – שן הי Shen He מפליג לקמבודיה, צילון, גאבה ואפריקה.
בעקבות טביעת הצי הסיני בסערה, שלשלת מינג Ming אוסרת על ספנות (מנוגד לרצון האל).

המצפן הובא לאירופה (מרקו פולו?) והיה גורם חשוב במסעות הגילוי של הונציאנים, הספרדים
והפורטוגזים, גילוי אמריקה והנתיב הימי להודו ולמזרח הרחוק.

1269 פטרוס פריגרינוס Petrus Perigrinus חוקר את הקטבים המגנטיים.

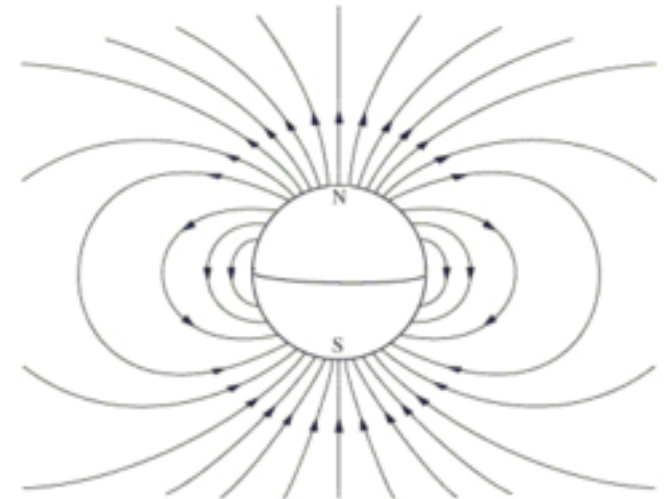
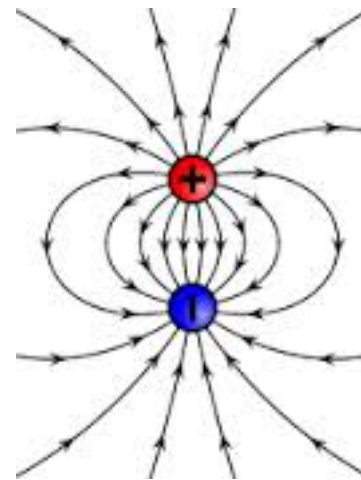
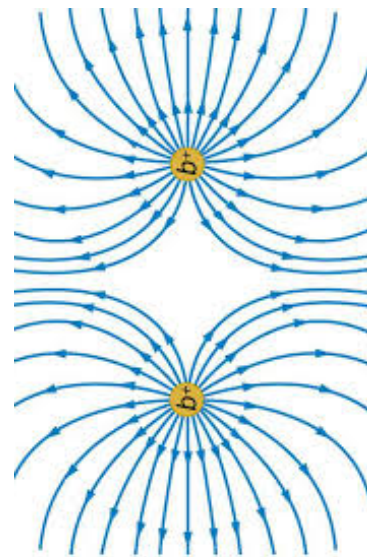
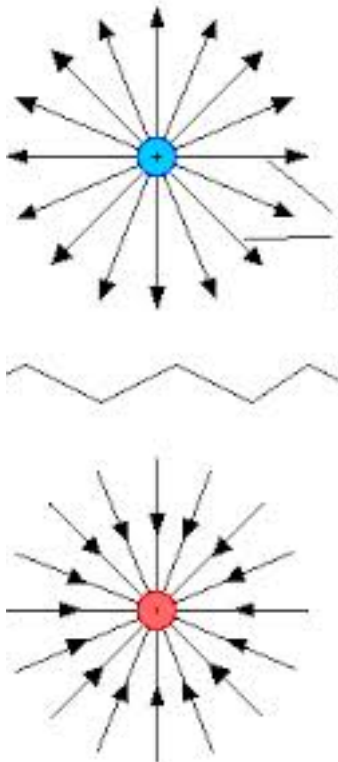
1600 ויליאם גילברט William Gilbert חוקר את השדה המגנטי של דיפול – הארץ היא דיפול
מגנטי.

מאה ה-17 רנה דקרט René Descartes השדה המגנטי כצינורות לזרימת חלקיקים.

**הדגמות: משיכת פיסות נוצות (ניר) לפלסטיק (עינבר) לאחר חיכוך בבד
שדה מגנטי - אירגון נסורת ברזל ע"י מגנט: קוי כוח מגנטיים
סיכה מגנטית על מים**

הקדמונים עירבבו בין כוחות חשמליים ומגנטיים. איך תוכלו לעזור להם להבחין ביניהם?

לא ניתן להפריד בין שני קטבי המגנט: חיתוך מגנט ייצור שני מגנטיים.
שני קטבים מול קוטב אחד, מגנט מסתובב בשדה המגנטי של כדור הארץ, אך לא הגוף הטעון בחשמל
כוח דחיה ומשיכה בשניהם (חיכוך בבד ובמשי) אך אותו מגנט גם דוחה וגם מושך מגנט אחר - תלוי בכיוון
בעוד מטען תמיד מושך הפוך ודוחה מטען זהה



מכאניקה בבניה

מה משותף לבניה באזורים שונים בעולם לפני 4000 שנה?

התלות במים – לשתייה, להשקיה, לתחבורה, להגיינה.

לעומת זאת אין נהרות גדולים בערי יון הקלאסית או המאיה, מדוע?
(ערים קטנות. טכנולוגית אגירת מים. תלות בחקלאות מיובאת: יון מאסיה הקטנה, מאיה אזורים טרופיים גשומים).

המיבנים הראשונים היו ארמונות מלכים ומקדשים. לבנייתם נצרך כוח אדם רב ואמצעי חציבת אבנים והסעתם מהמחצבה לבנין. (דחיפה על גיזרי עץ כגלגלים)
הפירמידות דרשו אלפי אבנים שגדלו עם הדורות. הבניה – תל אבנים מסוטטות.

איך חצבו לפני תקופת הברזל?

קידוח חור באבן גיר במוט עץ שבקצהו אבן צור, הכנסת עץ יבש לחור והספגתו במים – כשהתנפח ביקע את האבן. אפשר לראות את חריצי החורים במחצבות באזור קיסריה בכביש החוף.

מדוע נשמרו מקדשים וארמונות ולא בתים של פשוטי העם?

(קשה להרוס או להשתמש באבנים גדולות לבתים פשוטים)



פירמידות במצרים
ובאמריקה (תרבות
המאיה ביוקטן)

מדוע מבנה דומה
בתרבויות שונות?



שער מקדש במלטה



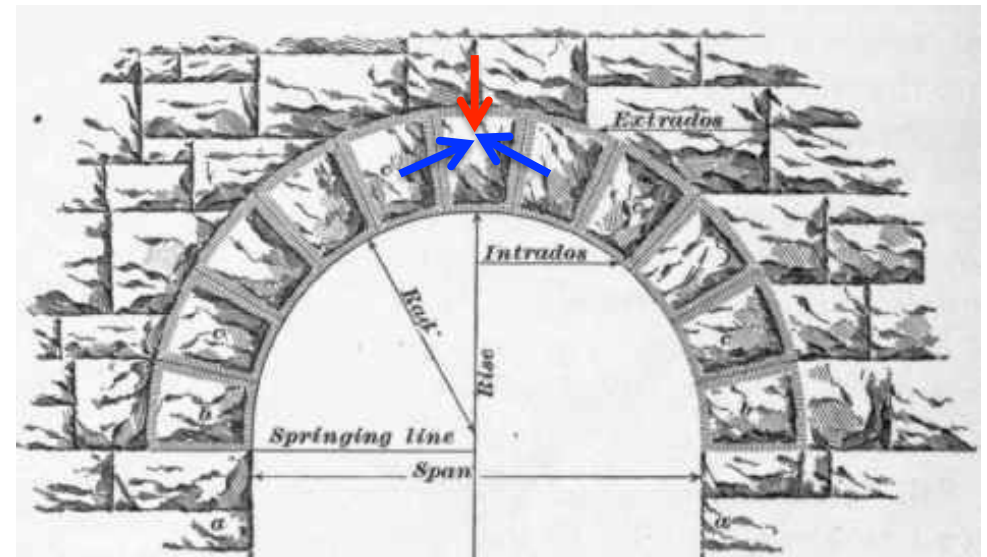
אנגליה, לפני כ-4500-4000 שנה Stonehedge
מה משותף בין מעגל אבנים זה למקדש במלטה (רמז: מבנה השער)

ממגורים ארעיים (אהלים) לערים וכפרים קבועים ובתי אבן.

פיתוח שיטות בניה באבן שאינה דורשת אלפי בנאים:

1. קירות מאבנים לא מסוטטות ותיקרות שטוחות מעץ
2. תמיכת גגות אבן ע"י קשתות מאבנים קטנות (אבן ראש)

האם תוכלו לשרטט את הכוחות הפועלים על האבנים בקשת?



איזה חמרים משמשים אותנו היום בבניה? מה היתרונות והחסרונות?

(פלדה, ביטון, גבס, אלומיניום, זכוכית, פלסטיק)

מפעלי בנייה ברומא

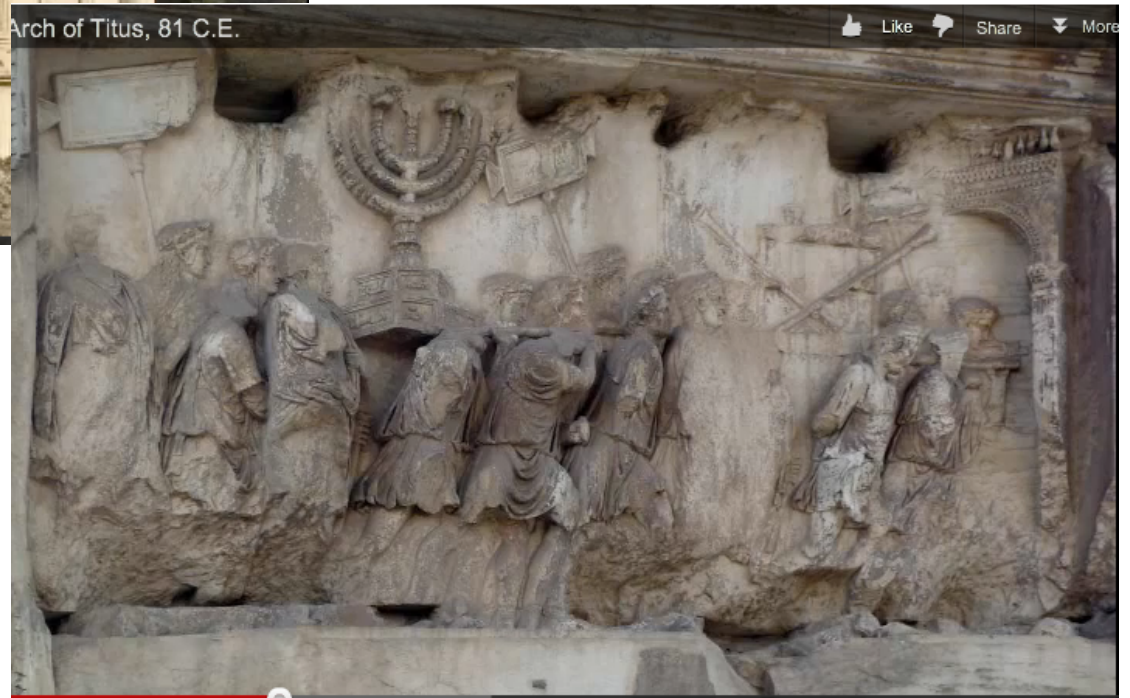
81 C.E.

Like



Arch of Titus, 81 C.E.

Like Share More



שער טיטוס בפורום רומנום

השגים מדעיים של הרומאים: מדע פרקטי -

מפעלי בניה: בנית אקוודוקטים, אמפיטיאטראות, קשתות ושערים, מרחצאות, מערכת ביוב, דרכים (ויה אפיה מרומא לים) ומערכות מסחר וכספים.
ולצרכי מלחמה: בליסטראות, (חוק המנוף של ארכימדס), ספינות משוטים מהירות עם שתי ושלש קומות משוטים, שיוט לכוון ספינות האויב בלי תלות ברוח, קשתות עם חיצי אש, סוללות ודייק לפריצה לעיר במצור, (הדייק הרומאי במצדה).
גם רפואה לחיילים שנפצעו בקרבות (חבישת פצעים ושברים, ניתוחים)

ויה אפיה



הקולוסיאום ברומא



אקוודוקט - אמת מים



דיוק בגובה של מילימטרים
לאורך קילומטרים

אקוודוקטים בארץ:
בקיסריה ובלוחמי הגיטאות



ובאירופה:

נים-צרפת סגוביה-ספרד



