

העולם העתיק והקלאסי

לפה"ס ועד המאה ה-5

כימיה

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

בפגישה האחרונה

למדנו על רפואה ורופאים בעולם העתיק

מרפואה קדומה במצרים - תערובת של כשפים והתפתחות הבנה רפואית מנסיון לרפואה בתנ"ך ורפואה יונית (שלא נחשבה לאחד ממדעי הטבע) שיסדה בתי ספר לרפואה ורפואה רומאית - שסיכמה (אנציקלופדיה של גאלן) את כל הידוע

עקבנו אחרי השיטות שאיפשרו לרופאים לזהות את תפקידם של אברים בגופנו ואת חשיבות הבנת התפקיד לזיהוי וסווג מחלות, והדרכים לטפל בהן

דיברנו על צמחים וההבנה שהם מקבלים מים ומזון משרשיהם באדמה

עשינו נסיון שהידגים כמה קשה להבחין בתאים (אפילו גדולים כמו בבצל או שעם) ומדוע לא הבינו את חילוף החמצן בדו תחמוצת הפחמן בנשימה שלנו, בצמחים ובבעירת נר

היום נעסוק בכימיה

עבודה עצמאית

דוגמאות לנושאים, או כל נושא אחר שתאהבו ותציעו

רפואה בעולם הקלאסי – מכשפים למדע
ארכימדס – סיפורו של ממציא
הרקיעים – שלבים בתיאור היקום סביבנו
תחומי זמן ומרחב בעולמנו
שימושים מדעיים ברומא
תרופות ורעלים
הגיאומטריה של אוקלידס
שימושים לסטטיסטיקה בחיינו

מקורות הזיהום בסביבה
סביבה, קרקע, זיהום אויר
מערכת השמש חלליות, תחנות חלל
בעלי חיים בבית ובסביבה
אנרגיה סולארית – פתרונות ובעיות
מגוון המינים – שימור בידוד והעתקה בין יבשות
מים – חסכון, זיהום, טיהור, הטפלה
מזון – עיכול, אבות מזון, ויטמינים, גוון,
שימוש ביצורונים בתעשית המזון (בירה, יין, גבינות, ...)
שינויי טמפרטורה, לחץ דם, דפיקות לב במשך היום והסיבות
מהירות התקררות כוס תה – איך היא משתנה
חמרים היום ולפני 70 שנים – תכונות ושימושים, שינויים במוצרים
גידול צמחים – מהירות ותלות בגורמים (אור, מים, טמפרטורה, זבל ...)
רכבות בארץ: שיקולים כלכליים ואיכות חיים. רכבת לאילת?
גוף האדם כמערכת ביצועית – מזון, אנרגיה, יצירה
דבורים וחרקים – נזקים ותפקידים בחקלאות ובסביבה
מיחזור זכוכית, פלסטיק, ניר, בטריות: צרכים וקשיים

3000 לפה"ס מצרים – תורת האוגדואד (Ogdoad) כוחות ראשוניים שמהם הכל נוצר. 8
אלמנטים של כאוס (תוהו ובוהו) שהיו לפני שהשמש נבראה
1900 לפה"ס הרמס טריסמגיסטוס **Hermes Trismegistus** מלך מצרי אגדי שייסד את
האלכימיה

Thales of Miletus 624–546 BC הכל בא **ממים** ומהם יצאו האדמה והאוויר.

Anaximander 610–546 BC מושג האינסופי: אין תחילה וסוף [תוהו ובוהו]

גם האדם מורכב ממים. היקום נמצא **בשוי משקל של כוחות מנוגדים**

Anaximenes 585–525 **אוויר הוא חומר**: אפשר לדחוף בנשיפה. אוויר מתעבה

למים, והכל בא ממנו. האוויר הוא היסוד הבסיסי ובלעדיו אין חיים.

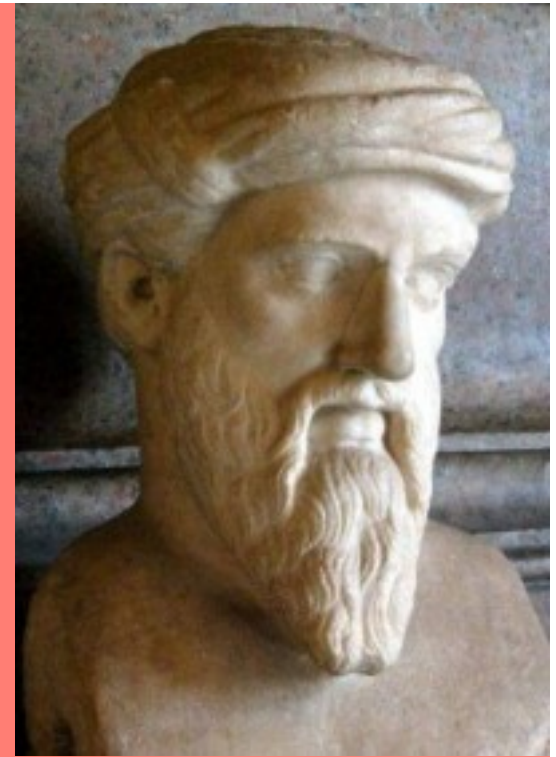
Pythagoras 582 – 507 BC ותלמידיו (בתי ספר בפרוטוניה, יוון הגדולה-איטליה) –

מספרים הם יסוד ליקום: סידור גיאומטרי של אטומים בקוביות, דלתונים וכו" יוצר חומרים

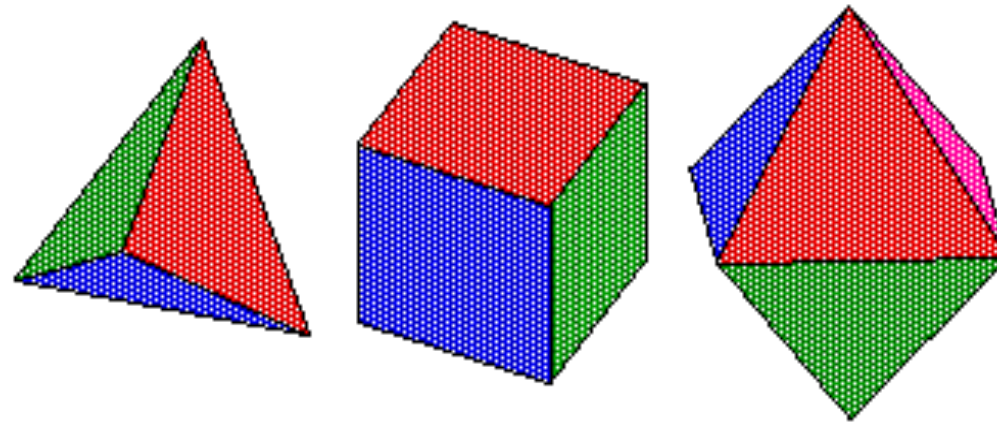
מספרים הם גם ביסוד המוסיקה – הרמוניה קשורה ליחסי אורך מיתר שלמים

פיטגורס (570-495 לפה"ס) Pythagoras

בפרק המכאניקה – מוסיקה
בהמשך נכסה תרומות של פיטגורס במתמטיקה



פיטגורס האמין שכל החמרים עשויים מחלקיקים גיאומטריים ושינוי תכונות החמר מבטאים שינויים של צורות אלה



The Tetrahedron The Cube The Octahedron

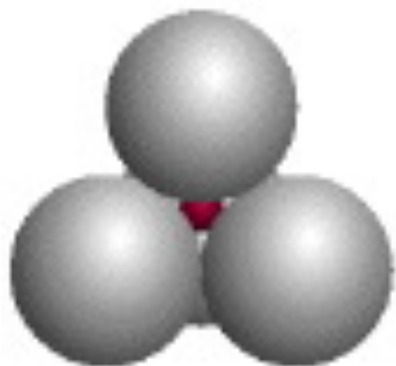
מה המקור לחשיבה זו של פיטגורס?

אמונה שהמספרים הם יסוד היקום
גבישים שנמצאים בטבע הם בעלי צורות גיאומטריות

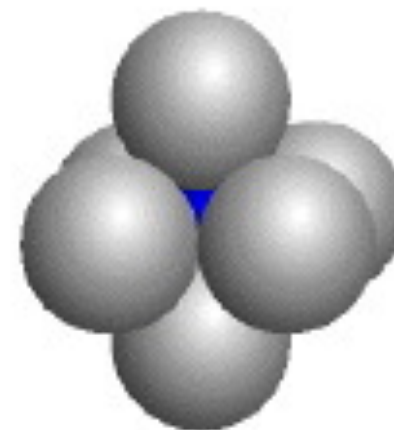
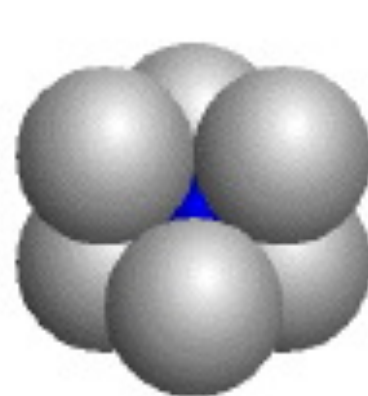
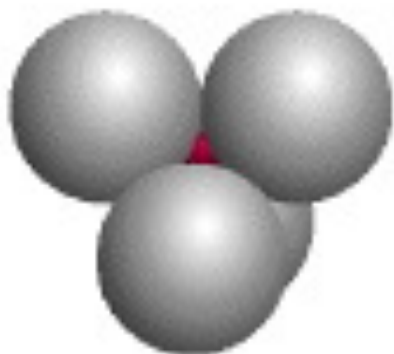
היום אנו יודעים את הסיבה לצורות הגיאומטריות של גבישים: הסידור האטומי

רדיוס יוני ומספר קואורדינציה

סידור האטומים תלוי במטען החשמלי ובגודלי הקטיון והאניונים

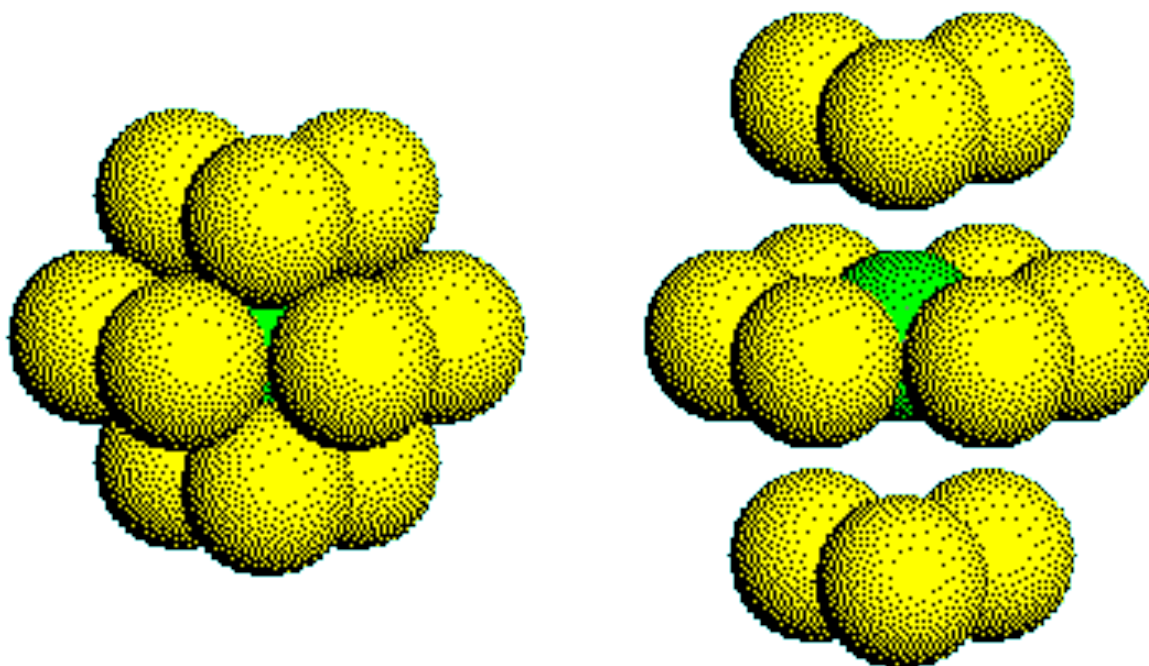


מספר קואורדינציה 4



מספר קואורדינציה 6

רדיוס יוני ומספר קואורדינציה

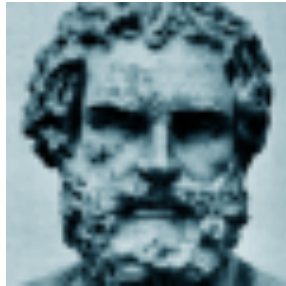


מספר קואורדינציה 12

פרמנידס מאליאה (515–540 לפה"ס) – (Parmenides) שולל אפשרות קיום של חלל ריק חוק שימור: חמר לא נוצר מכלום.

הרקליטוס מאפסוס Heraclitus of Ephesus 535 – 475 BC האש משנה חומר. "אז" היסוד הבסיסי – כוחות מנוגדים שהמתחים ביניהם חיוניים לקיום.

אמפדוקלס Empedocles of Acragas 490–430 BC ארבעה יסודות (שרשים) כימיים: אדמה, מים, אויר ואש. תערובות יוצרות את כל החמרים לפי יחס העירוב ויחסי אהבה-דחיה.



דמוקריטוס Democritus of Abdera late 400s BC

לאוסיפוס ודמוקריטוס (Leucippus ~500 BC & Democritus of Abdera ~410 BC) אטומיזם – החמר בנוי מאטומים ולא מחמר רצוף. מאפשר ריק ביניהם. בהמשך לפיתגורס, צורת האטום – קובעת חמר. הרעיון נשלל ע"י אריסטו.

מענין שדוקא עם התפתחות הכימיה (האנאורגאנית) נוצרה אמונה שחמרים אורגאניים מכילים מרכיב מיוחד של חיים בנוסף לאטומים.

אפלטון (Plato c. 427–347 BC)
אריסטו (Aristotle 384–322 BC)



ציור של רפאל:
אפלטון מצביע למעלה
לדברים שמימיים
ואריסטו למטה
לדברים ארציים

אפלטון (Plato c. 427-c. 347 BC) טבע את המושג "יסודות" או "שרשים".
הבדיל בין חמרים אורגאניים ואנאורגאניים, (יסוד החיים - ביהדות: נשמת כל חי)
האמין (בעקבות פיתגורס) שהמרכיבים האטומיים של החמר בעלי צורות גיאומטריות
(אש-טטראדרון, אויר-אוקטאדרון, מים-איקוזאדרון, אדמה-קוביה).
אירגון הטבע מתבסס על מתמטיקה, אך העולם מבטא את הרעיונות בצורה לא אידיאלית.
(לכן קשה להוכיח תיאוריה בנסיונות!!!)
אך אפשר להגיע לאמת ע"י טיעונים מחשבתיים.
ייסד את האקדמיה **ACADEMY**

ההיסטוריון פלוטרכוס (Plutarch 46-120) היה אפלטוניסט.

אריסטו (Aristotle 384-322 BC) תלמידו של אפלטון, אך האמין שניתן להגיע לאמת מתוך
ראיה נסיונית ותיאור.

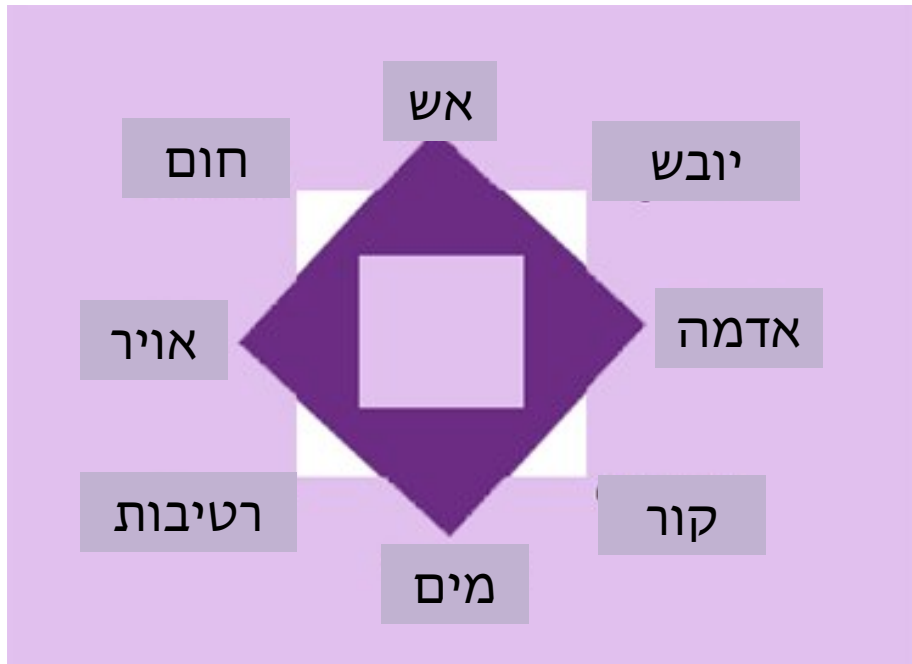
התחיל "אוניברסיטה" (או בית ספר) משלו - **LYCEUM**.
בהמשך לרעיונות **אמפדוקלס**, תרכובות הם תערובת של חומר וצורה.
אויר ואש - בורחים מהמרכז, אדמה ומים - נמשכים למרכז
הוסיף אלמנט חמישי: אתר, שלל קיום ריק (ואקום) - העולם מלא בחמרים.
מענין שהאתר שימש את הפיזיקאים עד לאחרונה...

זוסימוס כותב ספר אלכימיה (Zosimos of Panopolis 300)

"ספר הכימיה" של היוונים:

"הטבלא הכימית של היסודות" של היוונים: מים, אדמה, אויר ואש הם מרכיבים את כל החמרים בעזרת קור, חום, רטיבות ויובש

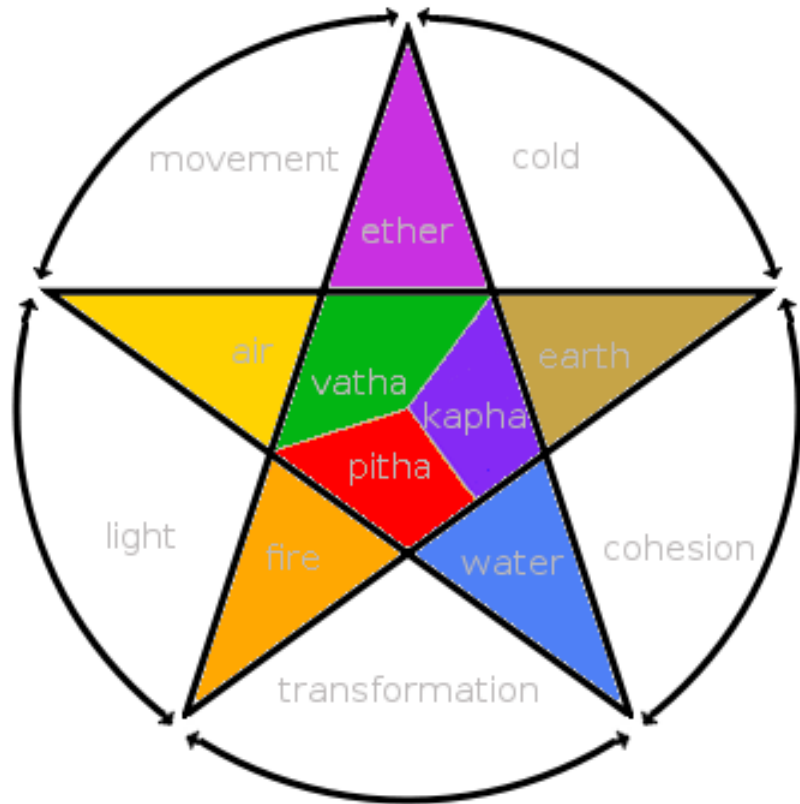
כיום: 118 אלמנטים כימיים שמרכיבים מליונים של תרכובות כמו אותיות שמרכיבות מילים וספרים



מיליטר אחד של מים ברתחה ממלא 2000 מיליטר של אדי מים

בהודו – איורבדה (Ayurveda) – מדע החיים

קשור בעיקר לרפואה אך דומה לדיאגרמה היוונית של יסודות החומר (אך יותר אבסטרקטי)
קור, תנועה, אור, שינוי, התלכדות
אתר, אויר, אש, מים, אדמה
פיטה, וטה, קפה



cold, movement, light, transformation, cohesion
ether, air, fire, water, earth
pitha, vatha, kapha,

10 זוגות של תכונות חמרים:

כבד/קל, קר/חם, חלקלק/יבש, כהה/חד,
יציב/נייד, רך/קשה, רירי/לא רירי, עדין/גס,
קטן/גדול, מוצק/נוזלי

heavy/light, cold/hot, unctuous/dry, dull/sharp,
stable/mobile, soft/hard, non-slimy/slimy,
smooth/coarse, minute/gross, vicious/liquid

תורות דומות: הודו, יוון ומאיה

השאיפה לתאר סדר פשוט בעירבוביה המבלבלת של חמרים שונים משותפת לתרבויות שכנראה לא נפגשו

האש - התהליך הכימי הראשון בשימוש האדם

האש איפשרה לשרוף כלי חרס. השריפה היתה תחילה באש פתוחה. עם התפתחות כבשנים בנויים באבן, לצורך שימור החום, הגיעו גם לטמפרטורות גבוהות יותר שאיפשרו הפקת מתכות.

המתכות נמצאו בכמות קטנה בטבע, ונוצרו בתחילה בכבשנים במקרה. אך עם הזמן פותחו שיטות להפקתם, וזוהו מיכרות לעפרות עשירות במתכות. השיטות להפקת מתכות והפיקוח על המיכרות והכבשנים נשמרו בידי שליטי המדינה בסוד בגלל ערכם.

Gold [Au – Aurum]

זהב

הזהב היתה המתכת הראשונה שהופקה באופן מסודר, לפעמים בתערובת עם כסף (אלקטרום) אך בעולם העתיק ערכו של כסף עלה בהרבה על הזהב.



מדוע הזהב הוא המתכת הראשונה שהופקה?

קל להפוך תחמוצת למתכת, וקשה לחמצן את הזהב אפילו בחום טמפרטורת היתוך 1064°C ועד 700°C למסגרי כסף ונחושת 3500 לפה"ס חפצי אמנות מזהב בקברים במצרים

2600 לפה"ס מיכרות זהב מצריים בנוביה (סודן נוב=זהב) אבני צור וחרסים שימשו לכריה 1500–1600 לפה"ס כספית בקברים – כנראה שימוש בהפקת זהב, כאמלגמה – כספית ממיסה זהב). כספית כנראה הופקה ע"י דחיסת העפרות דרך עורות שעצרו את טיפות הכספית החפשית.



עפרות הזהב נטחנו לאבקה, ונשטפו במים על פני חרסים חלקיקי אבקות קלות נשטפו ונשארו תרכובות זהב הכבדים יותר



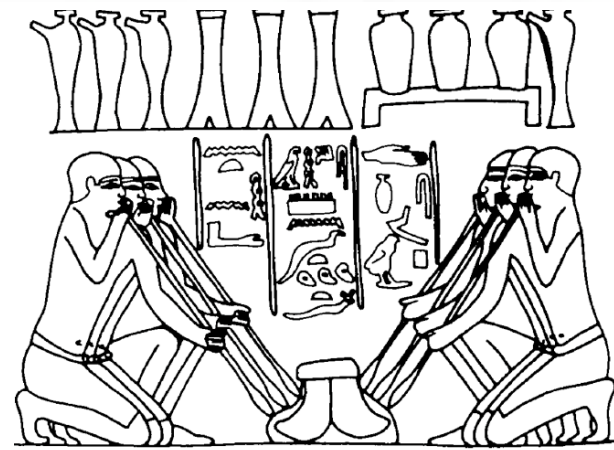
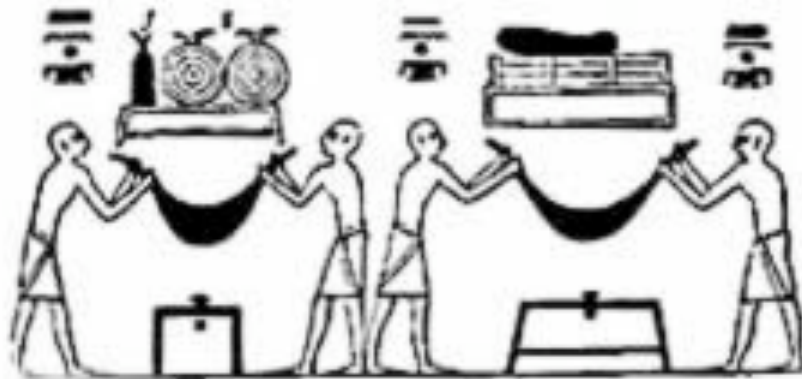
סמל הזהב: שמש.
בהירוגליפים (היתוך ויציקה):



ציפוי פסלי עץ ותבליטים ברדידי זהב במצרים

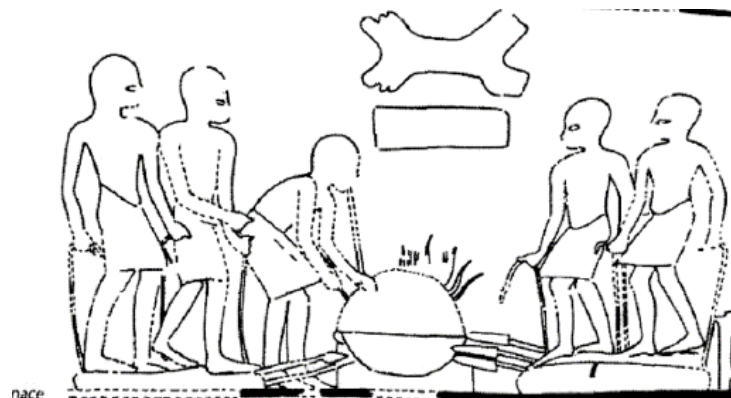


בציורים רואים רחיצת העפרות מהחול, נשיפת אויר לכור ההיתוך לליבוי האש, ריקוע, יציקה ושקילת הזהב



בכורי ההיתוך שמו עפרות שמכילות זהב, שהיו כבדות יותר מגרגרי החול, עם **פחם** ששימש לחיזור המתכת מהמלחים או התחמוצות. **ליבוי האש** נעשה תחילה **במניפות**, אח"כ בנשיפה בקנה לתוך כורי האש הסגורים כדי להגיע לטמפרטורות גבוהות יותר מאשר בכורים פתוחים.

הכורים היו תחילה מחרס עם אש חיצונית מתחתם, והתפתחו לכורים סגורים לתוכם הוסיפו פחמים ונשפו אויר. את המתכת הנוזלית יצקו לתבניות אבן גיר, גבס או חרס. תחילה תבנית פשוטה, אח"כ שתי תבניות מתאימות שיצרו צורות תלת ממדיות. בממלכה התיכונה החלו להשתמש במפוחים עשויים מעורות ששוכללו למפוחי תוף או צלחת המופעלים ברגל או עם חבלים. בציור אנו רואים את כל השלבים: הכנת הכור עם פחם, ליבוי אש, כיסוי הכור, ניפוח אויר, ויציקה ממיכל חרס חם המוחזק במוטות.



מאחר והמתכות נמצאות בעפרות המחצבים בטבע כשהן מעורבות, הפיקו זהב באיכויות שונות, שאובחנו תחילה לפי צבעם ואח"כ לפי צפיפותן (הזהב היתה המתכת הידועה לקדמונים בעלת הצפיפות (משקל ליחידת נפח) הגבוהה ביותר (כיום אורניום וחבריו כבדים יותר...)).
נלמד איך ארכימדס קבע בדיוק רב צפיפות גופים.

כדי לייצר **זהב טהור** מסיגי מתכות אחרות עשו תהליך הפוך לתהליך ההפקה שלו – חימצון באויר ובחום, אך באופן מבוקר כך שמתכות אחרות ("פחות אצילות") יתחמצנו אך לא הזהב. תחמוצות המתכת נשארו בנקבי החרס, והזהב הנוזלי זרם החוצה.

מצד שני גם למדו ליצור **מסגים** של זהב וכסף (צבע לבן) וזהב ונחושת (צהוב-חום) שאיפשר גיוון צבעים ליציקות וריקועים. השתמשו גם ברדידי זהב דקים לציפוי פסלי עץ ואבן, ותבליטי קיר (ע"י ריקוע והדבקה).

לבני ישראל היו תכשיטי זהב בזמן יציאת מצריים ממנו יצקו את עגל הזהב.

רומא אמונה שאפשר להפיק זהב מחמרים בטבע בעזרת מרשמים – "**אלכימיה**"
דיאוקלטיאן שליט רומא Emperor Diocletian משמיד ב-290 לספירה ספרי אלכימיה כדי למנוע הפקת זהב



נחושת [Copper [Cu – Cuprum]

3400 לפנה"ס מיכרות נחושת למצרים (תמנע)

3000 לפנה"ס בעמק האינדוס הפיקו מתכות: נחשת, ברונזה, עופרת בדיל וזהב

666 לפנה"ס מיכרות בדיל בהר רזס (Gabel Rasas) באירן - בדיל ונחשת יוצרים ברונזה קשה

400 לפנה"ס בהודו מטלורגיה והפרדת מינרלים ואלקאליים ~300 לפנה"ס פפירוס (Leyden & Stockholm Papyrus)

שכנראה נקבר עם האלכימאי שחיבר אותו, ומכיל הוראות לזיקוק מסגי מתכות, חיקויים של זהב, כסף ואלקטרום (electrum - תערובת זהב, כסף ונחושת), צביעת בדים, חיקויי אבנים יקרות, והלבנת פנינים

הפקת הנחושת דרשה תנורים יותר חמים ותוספת אלקאליים ממחזרים (מאבן גיר). בגלל התערובת של נחושת ובדיל בעפרות, טמפרטורת ההיתוך הנמוכה יותר (900°) ודרגת הקושי

הגבוהה הברונזה היתה בשימוש נרחב ולא הנחושת הנקיה. טמפרטורת היתוך של נחושת 1084° ובדיל 232°



כריית העפרות בפטיש מאבני צור וידיות עץ לוותה בחימום אבנים באש ואח"כ שפיכת מים לקירור מהיר שגורם לפירור הסלעים. מיון העפרות העשירות בנחושת היה לפי הצבע האופייני.

עפרות עשירות במלחי נחשת Cu_2S CuFeS_2 בחימום עם סליקה הופכות לתחמוצות, ובשחרור חמצן בחום בנוכחות חמרים מחזרים כמו פחם - למתכת.

פסלים וכלים גדולים ייצרו ע"י **יציקה** לרצפת חול שנחצבה לפי הצורות והקישוטים הרצויים. גם הטביעו פסל או כלי חרס ושיכפלו אותו ע"י יציקות חוזרות. כדי ליצור חללים פנימיים פיסלו בגבס סביב שעוות דבורים. כשיצקו את המתכת השעווה נמסה ונשרפה, והחללים התמלאו במתכת. כך ייצרו כדים, וגם פסלים שתוכם חלול.

שלמה יצק מנחושת את כלי המקדש במישורי ירדן באדמת חרס. הוא ייבא חרשי נחושת מצור.

עבור מתכות רכות כזהב ונחשת ניתן היה לאחר היציקה **לרקע** את המתכת (עם חימום לריכוך) ולייצר תכשיטים וכלים מסובכים המעוטרים בציורים עדינים. אח"כ נעשה תהליך החלקה בחול ואבן ומירוק בבד או עור.

עם השימוש בברונזה למדו גם **הלחמת חלקי מתכת** זה לזה ע"י מסגים בנקודת התכה נמוכה יותר שהתקשרו היטב לחלקי המתכת אותם רצו לחבר (בדיל להלחמת נחושת)

ייצור **חוטי מתכת** היה שימושי לתכשיטים, לייצור חיצים ולקישור נוח וחזק של חלקים אחרים. חוטים נוצרו בגילגול.

Tin [Sn – Stannum] בדיל

עפרות בדיל עשירות נמצאות בחופי אנגליה וצרפת של תעלת הלמנש, אנגליה נקראה ע"י הרומאים ארץ הבדיל, וגם בצ'ינה, ספרד ופורטוגל, איטליה ואפריקה. היו גם מכרות בדיל במצרים, אירן וסוריה.
ניתך בטמפרטורה נמוכה של 262°C ולכן משמש להלחמות.

בתקופת הברונזה 3000 לפה"ס התגלה שעפרות נחושת מסויימים, כנראה עם תכולה קטנה של ארסן ובדיל, הפיקו נחושת מתכתית קשה ונוחה יותר ליציקה – ברונזה. עד מהרה התגלה האפקט הרעלי של ארסן שהופיע בעפרות עם בדיל, למשל בשימוש בכלי אוכל. ארסן שימש גם בכמויות קטנות כרפואה.

התלות בעפרות בדיל ליצור ברונזה, כגון קסיטריט – הגביש השחור שנמצא בערוצי נחלים (Cassiterite SnO_2) ייצר קשרי מסחר ארוכי טווח באסיה ואירופה.



ברזל Iron [Fe – Ferrum]

בשכבה חיצונית של כדור הארץ בממוצע 50,000ppm לברזל, לעומת 70 לנחושת, 16 לעופרת, 5 לארסן, 2 של בדיל, 0.1 לכסף, 0.005 לזהב.

מדוע אם כך לא היה הברזל המתכת הראשונה בשימוש כי אם הנחושת?

הסיבות: טמפרטורת ההיתוך, האפיניות הגבוהה של ברזל לחמצן (חלודה) וממצאים של עפרות עשירות במיוחד של זהב בנוב ונחושת בנגב. רק כשהגיעו לכבשנים שחומם מעל טמפרטורת ההיתוך של ברזל (1536°) עם אוירה ממחזרת התחילו להפיקו.

2900 לפה"ס כלי ברזל נקברו בתוך פירמידות.

1300 לפה"ס מלך החיתים היטיטס (Hittites) שולח לרעמסס השני חרב ברזל (כנראה ממקור מטאוריטי).

800 לפה"ס במצרים מיכרות ברזל.

הסינים יצקו כלי ברזל במאה ה-5 לפה"ס.

1000 לפה"ס בפרס ייצרו פלדה ע"י תוספת פחם ללא חמצן לברזל מותך. מאז ייצור פלדה, בעיקר לחרבות, היה מיקצוע מבוקש.



בתנ"ך מוזכרות המתכות: זהב, כסף, ברזל, נחושת, בדיל, עופרת ופוך (אנטימון לאיפור).

תובל קין היה חרש הברזל והנחושת הראשון.

מרכבות הברזל היו רק לפלישתים בזמן כיבוש הארץ.

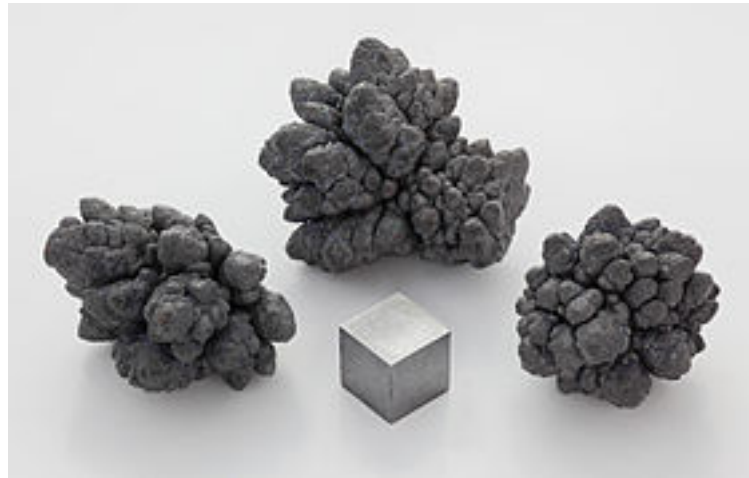
המקדש נבנה מאבנים שלא הונף עליהם ברזל.

עופרת [Pb – Plumbum] Lead

מתכת רכה ונוחה לריקוע ועיבוד.
מופקת לרוב מסולפיד PbS שנמצא בעפרות (כגון גלניט) ע"י חימום עם פחם אבן.
טמפרטורת ההיתוך 327.5° .

שימושים: משקלות לרשתות דייגים ("צללו כעופרת במים אדירים").
הרומאים יצרו מעופרת צינורות למים וביוב (עד היום שרברב בלועזית plumber).
צבעים - של תרכובות עופרת הם צבעים בוהקים
(אסורים היום לשימוש עקב דרגת רעילות גבוהה לתינוקות).

תוספי דלק להגדלת אוקטן (אסורים היום).
מסכים וסינורים מגיני קרינה (מדוע? בהמשך).



Silver [Ag – Argentum] כסף

מתכת אצילה, נוחה לריקוע ועיבוד.
מופקת לרוב מסולפיד Ag₂S. בא בעפרות מעורב עם עופרת, ולכן הפרדתו קשה, והיה יקר מזהב בעולם העתיק. ביון וכריתים למדו להפיקו בכמויות וברומא היה בשימוש רחב במטבעות.
טמפרטורת ההיתוך 961⁰.
הסמל של כסף: ירח (בגלל הצבע).
שימושים: מטבעות כסף, תכשיטים, גביעים וכלים לאוכל ופולחן.



שימושים למתכות:

מטבעות

כלי בישול, סכינים

פטישים, מחרשות

עדיים, פיסלונים, כלים מקושטים

מחטים ומסרגות לייצור בגדים

חרבות, ראשי חיצים, שריונים

גלגלי מרכבות

הנביאים הכירו היטב כורי היתוך ותהליכי זיקוק מתכות והשתמשו בהם כמשלים. גם ריקוע וגם יציקת זהב מוזכרים בתנ"ך. כסף היה יקר מזהב, ושימש כמטבע (שקל). נבוכדנצר הגלה את חרשי המתכת כדי למנוע ייצור חרבות ומרידה נגדו.

מקורות טיבעיים לכימיקאליים

חמר ממחזר: פחם

רוב התחמוצות משחררות חמצן בחימום. אם מצויים חמרים כגון פחם חפשי (מעץ) שיתחבר לחמצן בכור סגור (חוסר בחמצן), מתקבל בקירור החמר המחוזר (כגון מתכת).

חומצות: חומץ יין.

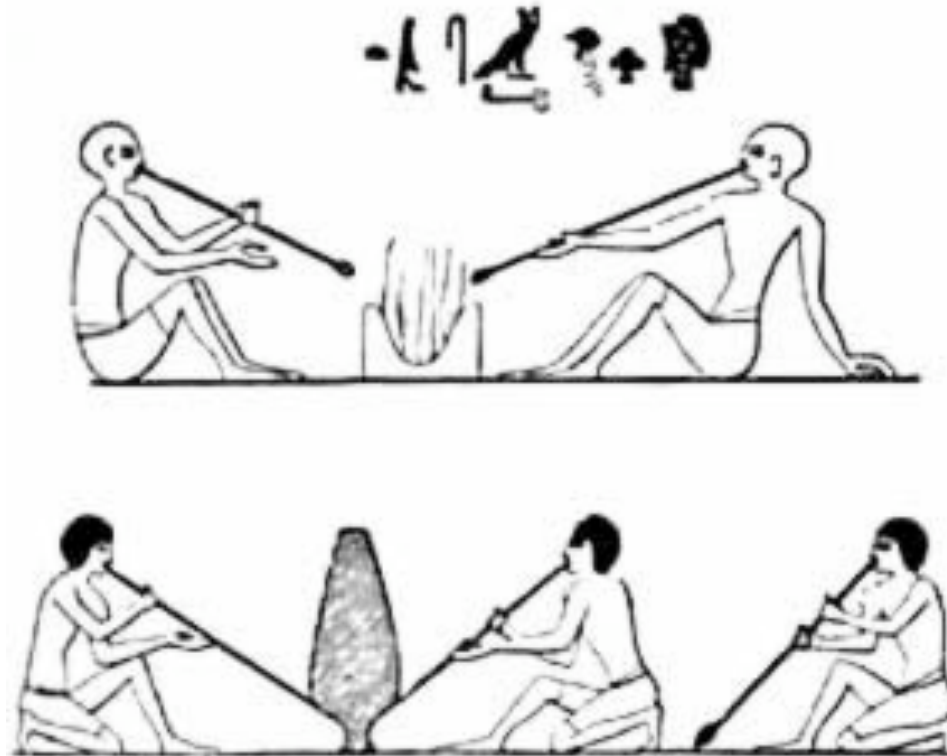
בסיסים: סודה קאוסטית (NaOH), סודה לשתיה NaHCO_3 נמצאים במרבצי אגמים שהתייבשו. אלכוהול: מתהליכי תסיסה של עמילנים (מתבואות-בירה) וסוכרים (מפרות-יין) בשימוש לשתיה, אך גם להמסת חמרי טבע וריכוזם (באידוי האלכוהול) לצרכי תרופות.

סודיום קרבונט: מאפר של שריפת זרעים Na_2CO_3

שימש בייצור זכוכית.

זכוכית

1400 לפה"ס הפניקים מייצרים כלי זכוכית בניפוח (ציורים מתל אל עמרנה במעלה הנילוס)



הכימיה של ייצור זכוכית

בשריפת זרעים – מתחבר האפר המכיל סודיום קרבונט Na_2CO_3 עם חול ים ומייצר סיליקטית SiO_2 . בתוספת אשלגן חמצני K_2O אפשר לקבל זכוכית שקופה. סודיום קרבונט נאסף מאגמים שהתייבשו במצרים (גם לשימוש שימור מומיות). "לא-יער־נה־זהב, וזכוכית; ותמורתה כלי-פז." ([איוב פרק כ"ח, פסוק י"ז](#)) סיליקה טהורה מותכת ב- 2000° אך בתוספת סודה (סודיום קרבונט Na_2CO_3) ההתכה ב- 1000° וסיד CaO עוזר למנוע המסת הזכוכית במים.

כימיה של צבעים

ציורי מערות: צבע מעפר, מיוצב בשומן חיות, חלמון ביצה וכו',
2600 לפה"ס שימוש בכימיקאלים כצבעים בציורי קיר בפירמידות.
3000 לפה"ס צביעת טכסטיל בהרתחה עם ירקות, עלים, חלזונות, שרשים ופרות. תוספות מלחים, מינרלים וחמרי טבע לקיבוע וייצוב הצבע.



מסחר ענף באינדיגו (כחול המופק מעלים של צמח) ותולעת ארגמן: צבעים בוהקים (מופק מחלזונות ים) חשוב בצביעת צמר, כותנה, פשתן ומשי: טיפול לקישור קבע של הצבע לבד (פליני מתאר תהליך כזה) לפעמים בהרתחה, ולפעמים בתוספת כימיקאלים.

צבעים לקוסמטיקה

לרוב אבקות ממינרלים (שמה בפוך עיניה) והמסת האבקות בשמנים היוצרים מישחות שנספגות בעור.

כימיה של ייצור דיו וצבע דפוס

2300 לפה"ס בסין דיו מצמחים + אבקת גרפיט. המסה במים וציור במברשת
400 לפה"ס דיו הודית – תערובת עצמות שרופות, זפת ועוד – כתיבה בחוד דק
ברומא – דיו מתמנן ואבקת גרפיט או מינרל שחור
700 בסין דפוס בלוק (עץ או אבן).

איזה תכונות נדרשות מדיו? סמיכות לרצף על הניר, הידבקות לניר, שהצבע לא יישקע – לכן הוסיפו לגרפיט חמרים אורגאניים. צבעים אורגאניים וגם מינראלים אי-אורגאנים ציבעוניים פחות יציבים מגרפיט עקב חימצון ודהיה באור.

(רמז: מה קורה לפרח שנובל)

מדוע לא ייצרו צבעים מפרחים?

צבעים מעפרות

חום – תחמוצת ברזל



כחול – קרבונט הנחושת (בשימוש ע"י מיכלאנזלו) CuCO_3

הצבע הכחול-ירוק בגגות עם רעפי נחושת של כנסיות ובתי עיריה באירופה שהותמרו ע"י גשם חומצי



צהוב ותפוז – Orpiment (As_2S_3) and Realgar (As_4S_4) מכיל ארסן ורעיל



צהוב – PbCrO_4



ירוק – malachite $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$



תרכובות קובלט וכרום – גווני כחול
המקור לזכוכית כחולה, ולכחול בקרמיקה סינית

מדוע ציורי רמברנדט כהים?

לבן – אבץ הידרוקסי $Zn(OH)_2$ – משחיר באור וחמצן
 PbS שהותמר לתרכובת כהה $PbCO_3$
השחרה של ציורי הרניסאנס עקב חימצון תרכובות גופרית: לבן- SO_2
תרכובות עופרת (כגון $PbCO_3$) היו בשימוש בצבעים (וכתוספי דלק עד לאחרונה), אך הוצאו
משימוש עקב רעילות למוח, בעיקר לילדים.



צביעת כדי חרס ביוון

ע"י תהליך שריפה תלת-שלבי החרס מתחמצן לחום- Fe_2O_3
בטמפרטורה 500 מעלות עם אספקת אויר. הטמפרטורה אז
מועלית ל-900 מעלות בלי אספקת חמצן והחרס
משחיר- Fe_3O_4 ובמקומות שנצבעה גלזורה היא מומסת ומצפה
את החרס בשכבה בלתי חדירה לחמצן. אז חוזרת הטמפרטורה
ל-500 והאזורים החשופים מהגלזורה מחוזרים שוב לאדום

קרמיקה בסין

שימוש בקאולין - חרס לבן ועדין שנאסף בקרקעית נהרות. ע"תהליך שריפה, אחרי ציפוי בצבעי זכוכית, מקבלים קרמיקה.

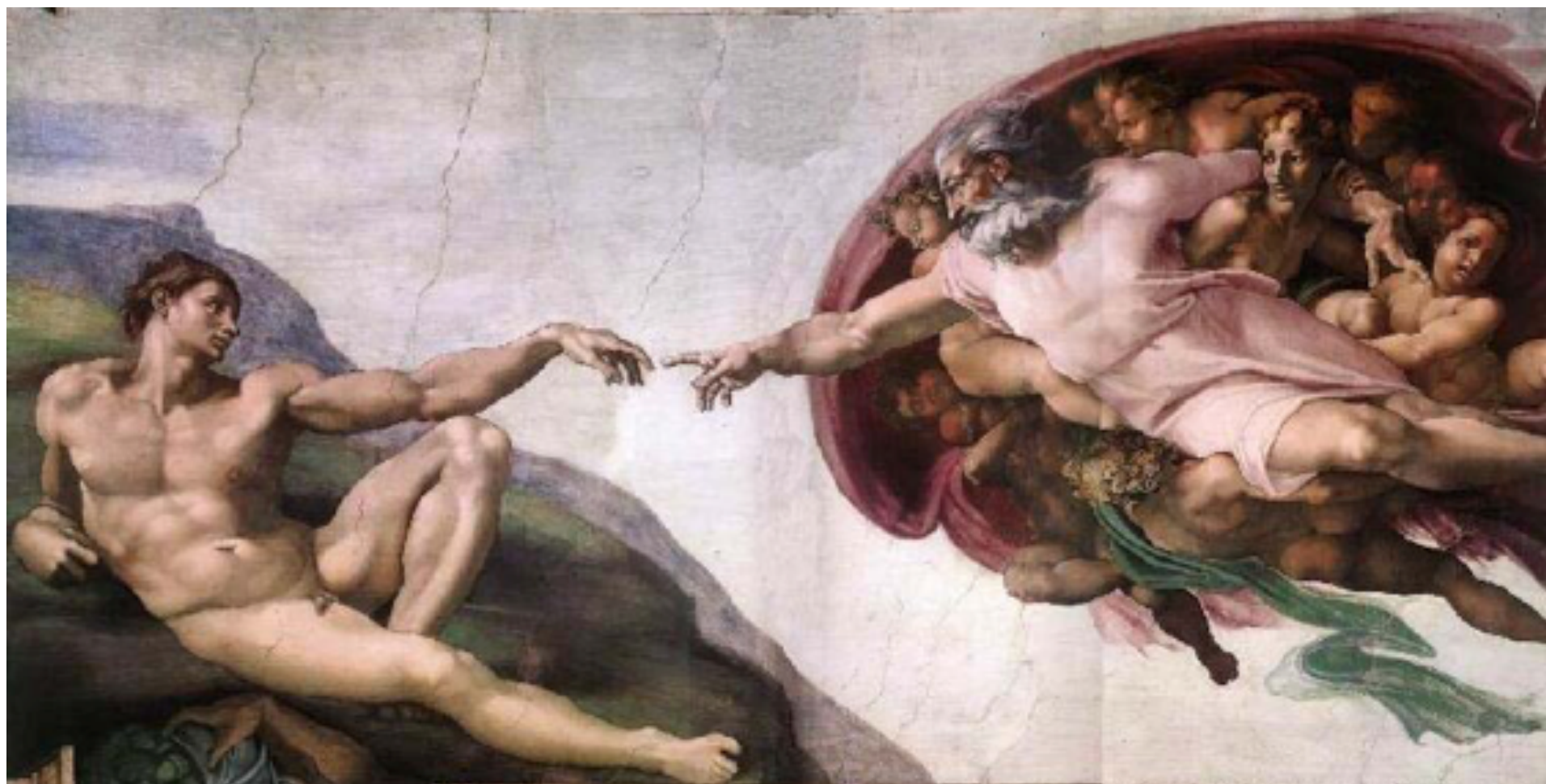


ציורי קיר (סטאקו) רומאיים – שילוב הצבע בטיח: מעין תחליף לשיש ולפסיפס. (ראה במצדה)



פרסקו – עירבוב אבקת הצבע עם חלבון ביצה בתוך הטיח. ברנסאנס – ציורי כנסיות

שיחזור ע"י רחיצה (רסטורציה) של הקפלה הסיסטינית שצייר מיכלאנזלו



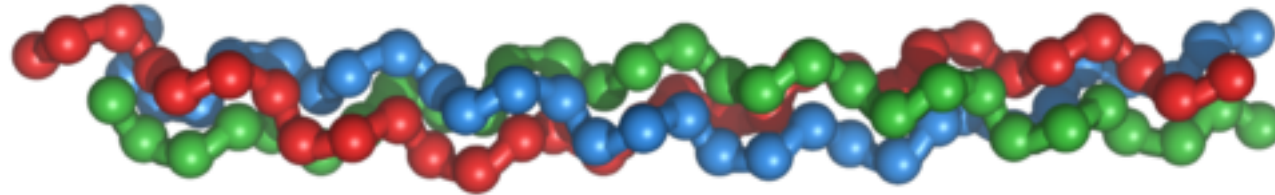
צבעי שמן – עירבוב הצבע בטרפנטין – שמן קל שמתאדה ומשאיר צבע בשכבות
וינסנט ואן גוך – הברוש
(אולי הארסן בצהוב שהשתמש – הסיבה לשגעונו של ואן גוך)

ציורי שמן ישנים כהו. צבעים בהירים גונו ע"י עירבוב בלבן מבוסס PbCO_3 שהותמר לתרכובת
כהה PbS בגלל חימצון ע"י SO_2 באויר. ניתן להלבין במי חמצן היוצרים PbSO_4 .



חמרים לעיבוד עורות

עורות מתקשים ונשברים בלי עיבוד. העיבוד והריכוך נעשה ע"י שבירת סיבי קולגן בעור ע"י מיצוי במלחים, ריכוך ע"י מלחי כרום, (המפרק סיבי קולגן) וטבילה בחמרים מקליפות אלון, (המכילה ריכוז טאנין גבוה עם ריח כבד).



חמרי נפץ

הרומאים השתמשו בקטפולטות שירו "כדורי אש". האש תכבה במעוף אלא אם יוספו מקורות חמצן כגון זפת או סיד חי לבעירה בתוך הלפיד.

673 - המוסלמים כובשים את קונסטנטינופול בעזרת "אש יוונית" פצצת תבעירה הנזרקת מקטפולטות (בליסטראות) ומכילה סיד חי, נפט גלמי, זפת וגופרית.



בשמים, תרופות ורעלים

1200 לפה"ס טאפוטי בלטקלים (Tapputi-Belatikallim) ייצרן בשמים, מוזכר בחרסים ממסופוטמיה

מיצוי פרחים במים שמנים ואלכוהול – בשמים עם ריח מחוזק בהרבה

תרופות ורעלים ממקורות אורגאניים מצמחים ופרותיהם, פיטריות, ארס נחשים (קליאופטרה), חלזונות, לטאות וכו'

מיצוי **קליפת גזע של ערבה** (העשיר באספרין) להורדת חום וטיפול בדלקות היה ידוע לבבלים (2000 לפה"ס אור כשדים – טבלת אבן עם טקט רפואי) למצרים (פפירוס אברס 1543 לפה"ס) וליוונים (היפוקרטס 377-460 לפה"ס).

ריכוז תמיסות דורש **חימום** – שהורס חמרים אורגאניים. לכן מיצוי באלכוהול נמצא עדיף. בתהליך המיצוי – ריסוק עלים ופרות הורס מיבנים תאיים וחמרים אורגאניים עוברים ריאקציות (**חימצון**) שגורמות לאיבוד תכונותיהם (שום כתוש, פלפל גרוס, בצל מטוגן ...)

רעלים אנאורגאניים – מתרכובות ארסן.

שימוש באבקות מינרלים מומסות לניקוי מערכת העיכול.

כימיה של מזון

בירה

6000 לפה"ס בבבל – שימוש **בשמרים להתססה** של בירה מלתת – דגנים מונבטים העשירים באנזימים לפירוק עמילנים.

מרשם לייצור בירה:

גורסים את הלתת (גרגרי תבואות כגון שעורה) הקלוי ומוסיפים לו מים. את העיסה המתקבלת, המכונה "מאש" (Mash) מחממים, על מנת למצות את מירב הסוכרים שבלתת. לאחר סינון התערובת, מתקבל נוזל הניתן להתססה המכונה "וורט" (Wort). בשלב השני, מרתיחים את ה"וורט", מטעמי סטריליזציה, ובכדי להגדיל את ריכוז הסוכרים בנוזל ע"י אידוי המים. בשלב הזה מוסיפים גם את הכשות (Hop) לנוזל, לשימור הבירה נגד חיידקים ולטעם: וככל שמקדימים להוסיף אותו, כך תתחזק הנוכחות שלו, המאופיינת במרירות, בתוצר הסופי. את הנוזל מעבירים למיכלי תסיסה סגורים לבידוד מהחמצן באויר, ומוסיפים שמרים שאחראיים על תהליך התסיסה הממיר סוכרים לאלכוהול ו- CO_2 . טיב השמרים וסוגם משתנה, ומשפיע מאוד על התוצר הסופי. הטמפרטורה בה מתרחשת התסיסה גם היא מאוד משפיעה, וככל שהתסיסה מתבצעת בטמפרטורה נמוכה יותר, כך יתארך שלב התסיסה. בבירות מסוג לאגר שלב התסיסה אורך בין שבוע לעשרה ימים, בדרך-כלל. מתקבל משקה המכיל 4% עד 6% אלכוהול.



פרי הכשות

יין

יין משמש בפולחן (נסך היין במקדש, קידוש בשבת) וגם כמשקה לשמחה ("יין ישמח לב אנוש" תהילים) אך הגזמה בשתייה גורמת לשכרות (לכן השם "שיכר") ולאדם לאבד שיקול דעת (נח ולוט).

יין מיוצר ממיץ ענבים, המכיל סוכר פירות, **ומשמרים**, המפרקים סוכר לאלכוהול השמרים נספחו לחביות העץ בהם תסס היין ואיפשרו ייצור חוזר של יין שנה אחר שנה.

זיקוק אלכוהול

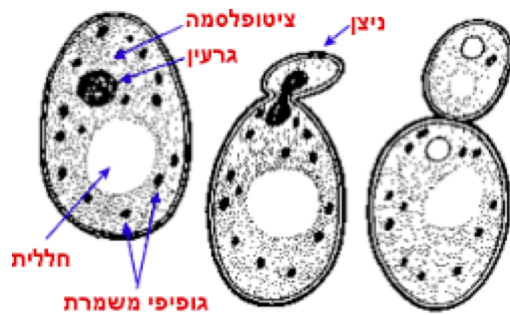
בשימוש בשמרי תסיסה מגיעים עד 14% אלכוהול (מדוע?) בזיקוק מגיעים לריכוז גבוה. ריכוז אלכוהול ממים – מתאדה בטמפרטורה נמוכה מהמים – לכן עיבוי האדים נותן אלכוהול מרוכז.

לחם

3000 לפנה"ס במצרים – שמרים ללחם ויין. הניחו בחוץ כדי שנבגי שמרים באויר יגיעו לבצק או למיצי הפירות ויתרבו על קרקע המזון. בתנ"ך מוזכרות המצות – לחם ללא שמרים, ושימוש במחמצת שאור – בצק שטפח ארוכות עם סוכר ושמרים – כמקור לטפיחת בצק טרי. השמרים פולטים בבצק כיסי אויר וגורמים ללחם להיות פריך.

השמרים

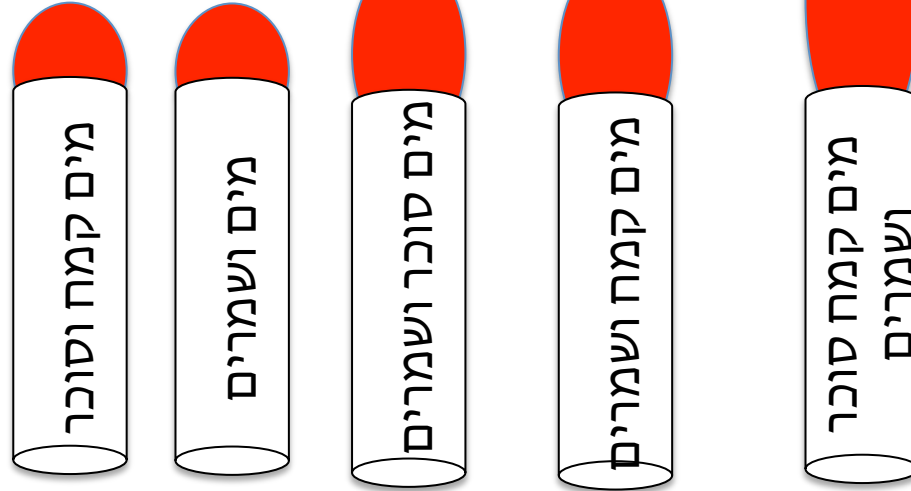
למרות שהשתמשו בשמרים אלפי שנים, שמרים נראו לראשונה במיקרוסקופ של **לובנהוק** 1680 אך הביולוגיה של שמרים החלה כ-200 שנה אח"כ: **מילר** 1837 גילה את התרבות השמר בהנצה, **ופסטר** חקר את המטבוליזם של שמרי יין המעכלים סוכר ויוצרים אלכוהול, ושמרי לחם המעכלים פחממות ופולטים דו-תחמוצת הפחמן. הגאז שנפלט מאוורר את הלחם. מצות – ללא שמרים – כבדות לעיכול.



שמרים - תהליך הנצה

נסיון בשמרים

נסיון פשוט: תערובת במבחנה וסגירה בבלון



שמן זית

מסיק הזיתים ביד או במקל. הזיתים מובאים לבית הבד, מרוסקים בן שתי אבנים, וכתית הזיתים נארז בסלים, נכבש להפרדת המוהל (הנוזל) מהמוצקים, כשהמוהל עומד השמן צף על פני המים ונאסף. (היום הפרדה בצנטרפוגות). בשמן שוקעים חלקיקי השאריות מהזיתים ומופרדים למנוע עליית חומציות.

שימושי שמן הזית: בישול, תאורה, סבון, משחות ותמרוקים, ממיס לרפואות. שימושי קודש: "יצהר" שמן המישחה לכהנים, "נמשך למלך", נר התמיד, הזית במשל יותם, אחד מ-7 המינים.

ייצור הסבון

שימוש לכביסת בגדים. השימוש להגיינה לא נעשה נפוץ אלא במאות האחרונות, כשהבינו שגם ידים הנראות נקיות מזוהמות בחיידקים. ייצור סבון ע"י תוספת אפר ושומנים למים רותחים ושמן. (האפר מכיל מלחי אשלגן היוצרים חומצות שומניות מהשומן) בתנ"ך "תכבסי בנתר ותרבי לך בורית, נכתם עוונך" (ירמיהו ב, 22)

ייבוש פרות (תמרים, צימוקים)

שיטת שימור המזון הראשונה אולי. פרות מתייבשים מהר יותר, אבל צריך להגן מעובש וחרקים. כן להגן בלילה מטל. אפשר לייבש בחום קל. להאצת הייבוש - חצית הפרי.

לבן, יוגורט, גבינות ומוצרי חלב

3000 לפה"ס ביות כבשים וייצור גבינות מחלב שנחמץ. אגדה על נווד שנשא חלב במיכל עשוי בטון של כבש, ונוצר יוגורט בגלל אנזימים שנשארו.
לחלב מוסיפים חיידקי גבן, המורידים את חומציות החלב, ומחממים מעט (40°) להאצת התהליך. הקזאין בחלב נהפך ללא מסיס ושוקע – הגבן מופרד ממי הגבינה למשל בשק בד. דחיסה נוספת של המים מייצרת גבינות קשות (צהובות).

ייבוש ועישון דגים ובשר

המלחה וייבוש בשמש או באש ועשן מרחיק חיידקים ועובשים מהסביבה המימית עשירת החלבונים הנוחה להתרבות.
רק עם התפתחות השימוש בקירור נשמר בשר לא מומלח לאורך זמן.

סיכום

אש - חימום מאיץ שינויים כימיים אך הקדמונים חשבו שהוא חומר בעצמו.
אש, מים, אויר ואדמה - יסודות (שרשים) שהכל ניתן לקבל מהם - הסבר פשוט למגוון החמרים.

מתכות - זהב, נחושת, ברזל - הפקה בחימום וחיזור תחמוצות המתכת.
זכוכית - היתוך חול.
צבעים לציוור, איפור, צביעת בגדים, דיו לכתיבה.
מזון - בירה, יין, לחם, גבינות ולבן.
שימור בשר ופירות.
שמן וסבון.
בשמים ותרופות. זיקוק אלכוהול.

**בעולם העתיק הצטבר נסיון רב בתהליכים כימיים מסובכים שייצרו מוצרים חשובים.
לפעמים - ההתנסות קודמת להבנה, ולפעמים - ההבנה דוחפת לניסיונות.**

