

ימי הביניים

המאות ה-6 עד ה-15

המדעים בעולם המוסלמי ובאירופה

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

ימי הבינים – תכן

ביזנטיון

סין

תור הזהב באיסלאם

ארכיטקטורה ואמנות (אירופה)

ביולוגיה ורפואה (בעיקר בארצות האיסלאם)

כימיה (בעיקר בארצות האיסלאם)

פיסיקה

אסטרונומיה ומדעי כדור הארץ

טכנולוגיה

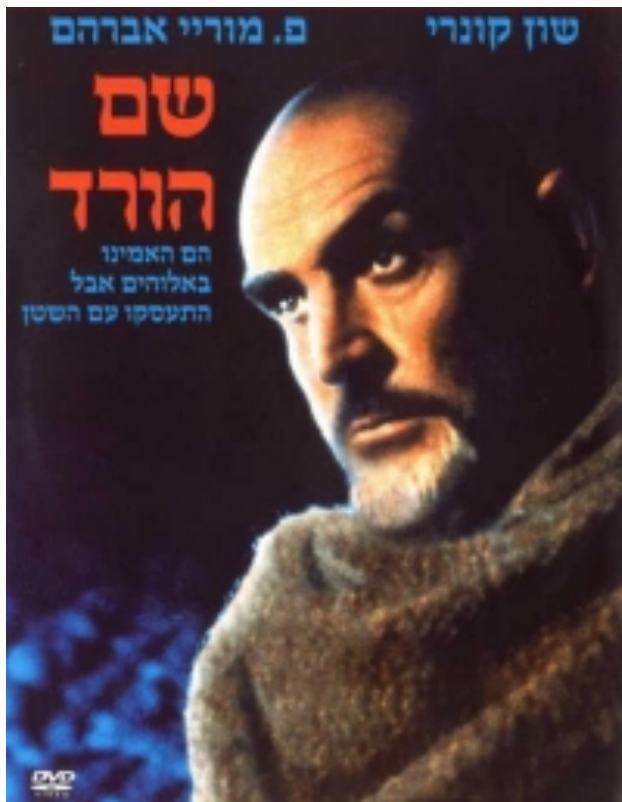
מתמטיקה

ימי הבינים המאוחרים

נספח: רשימת המדענים בימי הביניים

סרט: שם הוורד המבוסס על ספר מאת אומברטו אקו

מגיפות בהיסטוריה



המדע בימי הביניים תור הזהב של האיסלאם

ימי הביניים נתפסים כפרק חשור בתולדות האנושות. אך מתחת לפני השטח הם יצרו את התנאים ל"התפרצות" של הרנסאנס. אנו אוהבים להדגיש מהפכות וארועים הסטוריים ולקשור אותם לתאריכים ולאישים. חשוב לא פחות להבין את הרקע שאיפשר את קיום האירוע. אולי רקע זה היה מביא באופן בלתי נמנע לאותם אירועים גם ללא "המפורסמים" שאנו נוהגים לקשור אליהם. יותר מאירועים היסטוריים, תגליות מדעיות תמיד מתבססות על ידע מדעי קיים, ונעשו לא פעם באופן בלתי תלוי ובו זמנית על ידי מדענים שונים. אנו לרוב מייחסים את התגלית למדען שניסח את תורתו בצורה היותר ברורה, והצליח לשכנע ולהנחיל את משנתו לקהל הרחב ביותר של מדענים סביבו. ככל שהידע המדעי מתרחב, הופכת כל המצאה מדעית לנדבך נוסף בבנין קיים, וקשה יותר להפריד בין תרומות של מדענים שונים לתגלית.

בימי הביניים נעשה שימור של הקלאסיקה באמצעות שימור כתבים באלכסנדריה, ברומי ביזנטיון, בגדד ובספרד המאורית – דרך תרגומים לערבית. (שריפת הספריה באלכסנדריה –642) התפשטות המדע במזרח נעזרה בשפה הערבית המשותפת, כמו היוונית בעולם הקלאסי) מבגדד דמשק ואלכסנדריה אל צפון אפריקה ודרום ספרד. זאת בניגוד ליוונית ולטינית שנשארה שפת הספר והכמורה מול ריבוי שפות העמים באירופה. למדעני האיסלאם היתה גישה עיקבית לתיאוריה והוכחה נסיונית למדע, (בירוני, אלחזאן) והם פיתחו טכנולוגיות לביצוע נסיונות, שיט בימים, מסחר, והגנה על ערים. קריאת כתבים ערבים הביאה את הגישה הנסיונית אל פרנסיס בייקון וניוטון

הכליפים בבגדד עודדו לימוד וחקר, ותחתם המדעים שיגשגו מהמאה ה-7 ועד ל-15. הם תרגמו ספרי מדע מביזנטיון ביוונית ומהודית, ועם התרגום עודדו מחקר עצמאי. הם השתמשו בחאז' (העליה לרגל למכה) כהזדמנות לפגישות חכמי מדע. הכליף הארון אל-רשיד מקים בבגדד "בית החכמה" ב-810, האוניברסיטה הראשונה המוקדשת ללימוד ולתרגום כתבי יד מדעיים. בחסות הכליף נערכו נסיונות לאישוש או דחית תיאוריות מדעיות במתמטיקה, אסטרונומיה, רפואה ואלכימיה.

מסעות הצלב לירושלים וספרד המאורית היו אתרי מלחמות, אך גם מגע בין המזרח והמערב. הארופאים למדו הקמת מבצרים וחרבות פלדה, אך גם נווט ומתמטיקה. פירנצה וונציה היו בקשרי מסחר ימי ויבשתי עם המזרח. הערבים החזירו לאירופה, דרך תרגומים לערבית, את שיחזור הספרות הקלאסית.

למשל **ז'רר מקרמונה Gerard of Cremona** נסע לספרד להעתיק כרך בודד, ונשאר לתרגם 7 עבודות קלאסיות ללטינית.

בספרד המאורית, פריחה תרבותית ומדעית בשילוב כל שלשת הדתות.

פיתוח ספנות אוקינוס- מיקום הספינה ומפרש משולש שאיפשר נווט נגד הרוח ובסערות - הביא למסעות למזרח סביב כף התקוה הטובה (ואסקו דה גמה) וגילוי אמריקה (קולומבוס).
האינקויזיציה וכיבוש דרום ספרד ע"י הנצרות **Reconquista** הפסיקו פריחה זו. אפילו גילוי אמריקה והרווחים הכלכליים בזהב לא עזרו להביא את הרנסנס לספרד הקטולית.

מלבד ספרד צרפת ואנגליה, שהיו ממלכות גדולות, רוב אירופה - נסיכויות קטנות. אמנות, מדע וטכנולוגיה (צבאית) נקשרת לחוסן וגאווה של השליטים.
אוניברסיטאות התפתחו ממרכזי למידה שיסד צ'רלס הגדול וממנזרים תחת האפיפיורות (סלרנו, בולוניה), בהם נשמרו ותורגמו ללטינית כתבים מיוון הקלאסית ומערבית.
סימני תחיה תרבותית זו נקטעו ע"י המגיפה השחורה שהתפשטה במהירות בגלל עכברושים שנכנסו למשלוחי תבואות, ושחיסלה שליש עד חצי מאוכלוסית אירופה, ובעיקר קטלה באיכרים עניים שחיו בתנאי סניטציה נוראים.
באופן מפתיע החסר בכח אדם (בעיקר איכרים) חיזק את תהליך מתן זכויות לאיכרים ובעלי מלאכה, ואת תחושת החפש מפיאודליות.

נפילת קונסטנטינופול (ביזנטיון 1453) לידי הטורקים הבריחה אנשי מדע ורוח לאיטליה ובישרה את הרנסאנס.
מדעני ביזנטיון הביאו את האריטמטיקה והמדידה מהמדע הערבי כבסיס לתחיה המדעית באירופה.

חצר המנזר בפביה Pavia שבו נוסדה
האוניברסיטה הראשונה באירופה



סין

התרבות הסינית התפתחה באופן עצמאי, אגב מגע מינימאלי עם אירופה וקשרים מועטים עם הערבים. מעניין לכן להשוות את השגי המזרח והמערב במדע ובטכנולוגיות שונות. ניתן לסכם שלמרות שהפילוסופיה המדעית המערבית היתה יותר מתקדמת, הסינים תרמו טכנולוגיות רבות שהיו בלתי ידועות במערב, ותרמו תרומות משמעותיות לטוב (דפוס) ולרע (חמרי נפץ):

* עפיפונים, כדורים פורחים, דאוני אדם,

* מגנטיות ומצפנים

* שעוני מים

* ויסות מים בתעלות השקיה לחקלאות

משאיבות בוכנה

* שפורפרת ראייה למדידת מיקום כוכבים

מפות כוכבים מדויקות, הסבר למופעי הירח

* מאובנים וגיאולוגיה – שאלת הצפה ונסיגה של ימים ושינויי פני הקרקע

סיסמוגרף לרעידות אדמה

* לוחות דפוס ונייר

* יציקת ברונזה וברזל בכורים עם מפוחים ממונעי מים

חרסינה שרופה וגלזורה

* זיקוקים ואבק שריפה לרובים, רקיטות

* משקפיים

נפיצת צבעים בקשת

נסקור כמה המצאות וטכנולוגיות שהובאו לאירופה מסין:

דאה בעפיפון ממגדל, 559 Yuan Huangtou, Ye

מתמטיקאי ואסטרונום Li Chunfeng (602–670)

מצפן ממחט מגנטית משמש לניווט, שבירת קרני אור באטמוספירה Shen Kuo (1031–1095)

שעון שמש (astronomical gnomon) שעון מים (clepsydra)

אסטרולאב ספירי (armillary sphere)

שפורפרת ראיה למדידת מיקום זויתי של כוכבים

גיאולוגיה: הצפת אדמות סחף גרמה לקבורת מאובנים ימיים.

מתמטיקאי, Yang Hui (1238–1298)

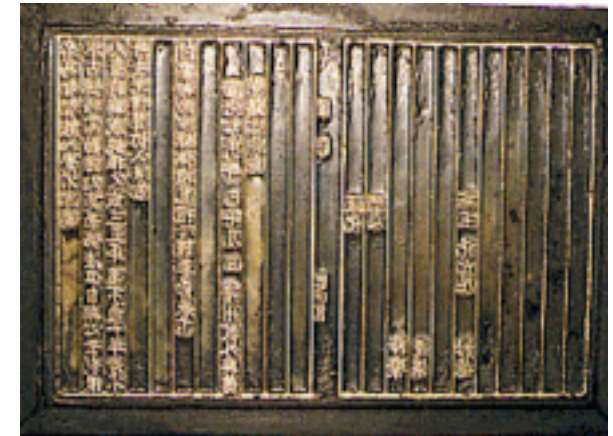
ממציא לוחות הדפסה עם אותיות משתלבות Bi Sheng (990-1051)

גוטנברג 1450s: Johann Gutenberg

מיישם באירופה דפוס עם אותיות משולבות בפלטות



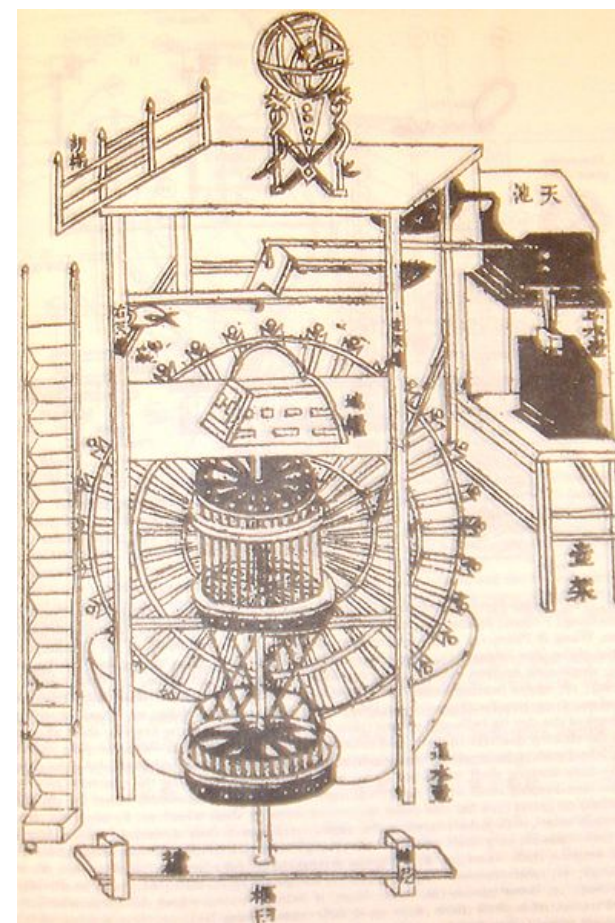
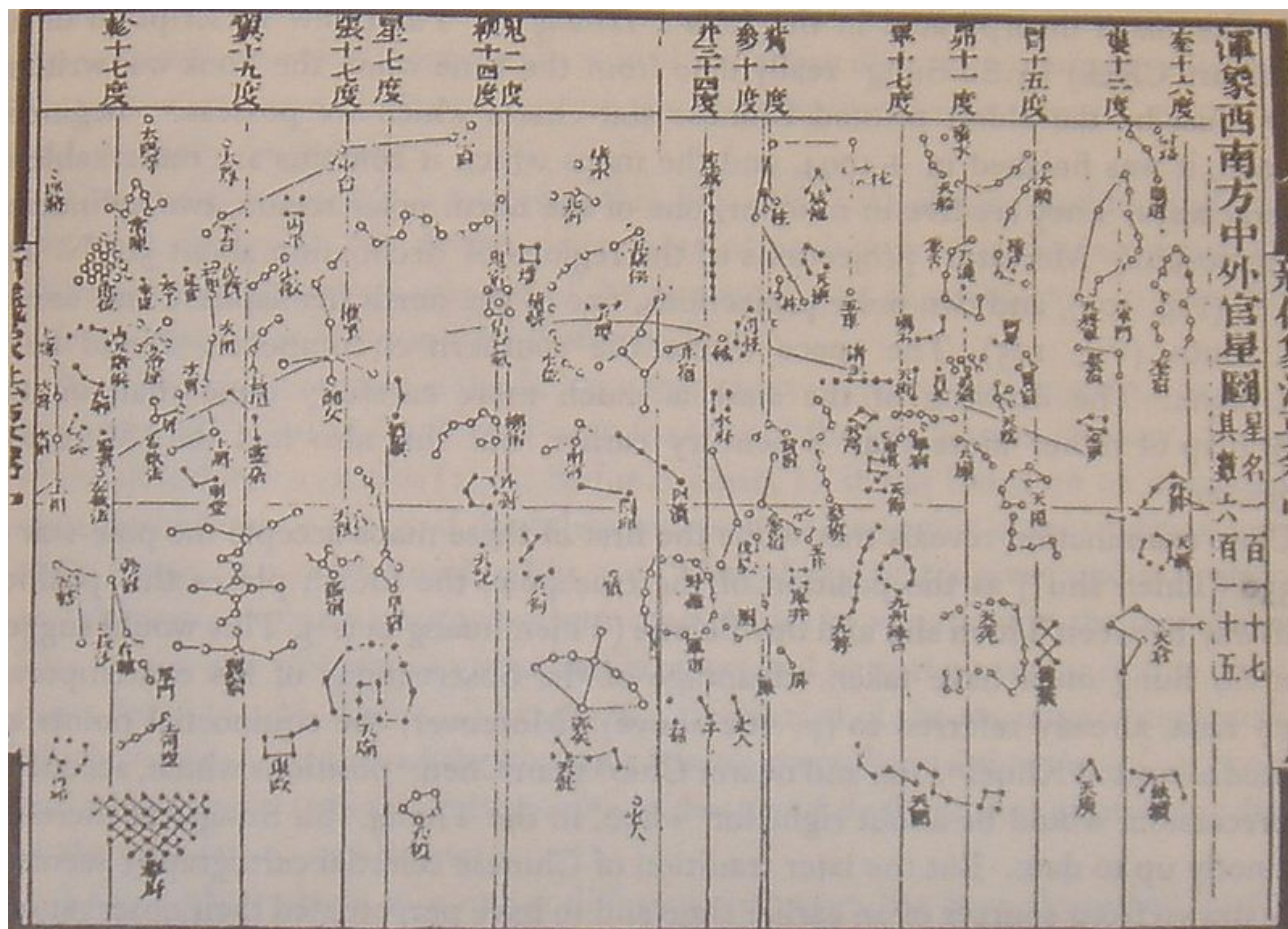
חיסום ברזל





סו סונג (1020–1101) Su Song

- מפת כוכבים – היטל גלילי של השמים (היטל מרקטור) פרמקולוגיה, בוטאניקה, זואולוגיה, מינרלוגיה ומטלורגיה.
- 880 בנה מגדל שעון בעיר קאיפנג (Kafieng) המונע בשרשרת סכרים לויסוט זרימת מים בתעלות השקיה – הבסיס לפריחה במצרים ובבל 3000 שנה מוקדם יותר



סיסמוגרף – חישה של רעידות אדמה (Zhang Heng (2nd century
גם המציא באפן בלתי תלוי **כתיבה עשרונית**

לפי **Joseph Needham** היישועי, המצאות סיניות שעברו לאירופה כוללות:
רציף מספנות לבנית ותיקון אניות, קליבר, משאיבת בוכנה, יציקת ברזל, כור היתוך עם
מפוחי אויר, מחרשת ברזל, מזרעה, מריצה,
מכונת ניפוי, מאוורר, מדחף, מצנח, גשר תלוי, גאז טיבעי לחימום, גפרורים,
קשת, רקיטות (גם רב שלביות), רסן ופרסות סוסים,
מפות תבליט, גלובוס שמיים מונע במים

מרקו פולו (1282) Marco Polo
מדווח על ריחוף אנשים בעפיפונים

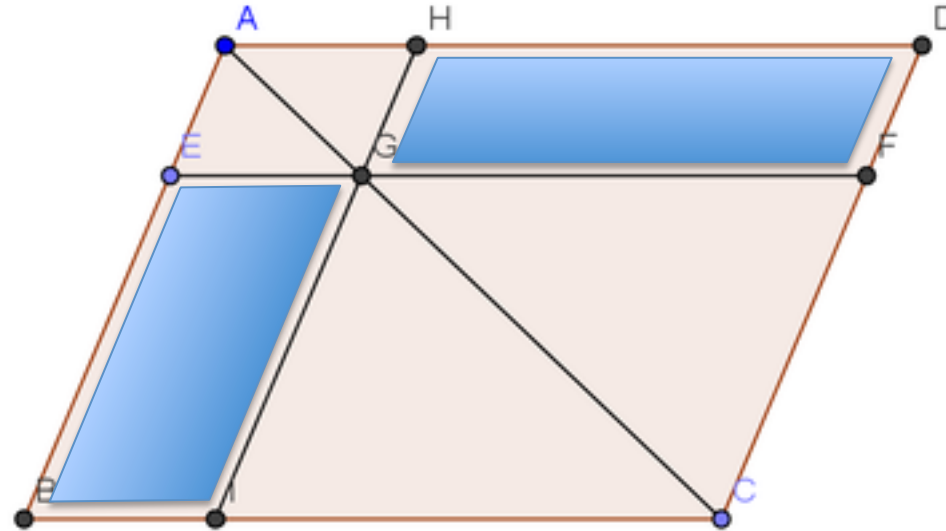
מ-1000 פיתוח **חמרי נפץ** מזפת, גפרית ופחם
רובים התפתחו מיורי אש מבמבוק 1044, מצנורות ברזל יורי חיצים,
ואחרי 1280 ירי כדורים
מהמאה ה-13 קליעי ברזל, רובים, מוקשים ורקטות
מאה-14 קליעי תותח נפצים, רקטה דו שלבית, מוקשים ימיים

מהמאה ה-10 כנראה משקפיים בסין

1279 שלשלת יואן-**חרסינה קשה** (שרופה) מיובאת לאירופה ע"י **מרקו פולו** אך סוד ייצורה
באירופה רק ב-1707.

Yang Hui

רשם הוכחה למשפט: המקבילים המשלימות למקבילים הנשענות על אלכסון מקבילית (צבועות בתכילת) שוות בשטחן.



מקבילית ABCD ואלכסון AC.

נשענות על האלכסון מקבילים EGHA ו-FGIC.

המשלימות שלהם BEGI ו-DFGH.

מ שוויון זוויות בין קווים מקבילים $ABC=ACD$ $AEG=AHG$ $GIC=GFC$
לכן $AEG+GIC=AHG+GFC$ ולכן $ABC-AEG-GIC=ACD-AHG-GFC$
או $BEGI=DFGH$ מ.ש.ל.

בד"כ המתמטיקאים הסיניים רשמו משפטים שכנראה האמינו בהם ללא הוכחות בניגוד לגיאומטריה של אוקלידס המבוססת על אכסיומות, למות והוכחת משפטים

מהחזרת קרני שמש בערפל נוצרת **קשת** Sun Sikong (1015–1076)

Han Dynasty (202 BCE–202 CE) : Jing Fang (78–37 BCE) Zhang Heng (78–139)

ליקוי שמש בגלל צל הירח, ליקוי ירח בגלל צל הארץ, הירח כדור ולא דיסק, ומחזיר אור השמש. לפי זוית ההארה – מופע הירח מלא או חרמשי.

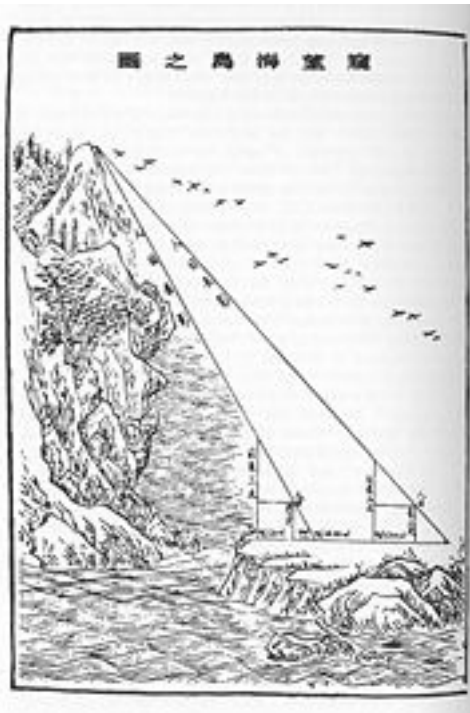
בסין היה מקובל שהארץ שטוחה ולא כדורית, עד המאה ה-17 בעקבות עבודות של הישועי האיטלקי והאסטרונום הסיני

Matteo Ricci (1552–1610) Xu Guangqi (1562–1633)

1054 התפוצצות סופרנובה בערפילית סרטן נצפתה במשך 23 ימים (נראתה אפילו ביום).

ב– Sung national observatory at K'ai-feng

Liu Hui (3rd century) The Sea Island Mathematical Manual
ספר מקיף של מתמטיקה



Liu Hui 3rd century
תרשים מהספר המתמטי
"ים ואיים"

איך למדוד גובה הר

Guo Shoujing (1231–1316)	טריגונומטריה כדורית, סטית המצפן מהצפון האמיתי
Qin Jiushao (c. 1202–1261)	אפס בתור רווח במספר
Jia Xian & Yang Hui	משולש פסקל
Zhu Shijie (fl. 13th century)	מחקר חישובים

מאה 11 – **כריתה מסיבית של יערות** לתעשית הברזל (עד למציאת פחם) גרמה אולי לבצורת

ציטוט של Wang Zhen (fl. 1290–1333) על המצאת **מפוח** המונע במים (Du Shi (1st century)
 לליבוי כורי היתוך למתכות
 המצאת **לק** להגנה על בגדים (משי לצוללים), עור, כלי נשק,
 משחה להברקת **מראות**

Marco Polo c. 1254 – January 9, 1324)

מרקו פולו הוונציאני מגיע דרך היבשה לסין בשלטון קובלה-חאן

Vasco de Gamma (1460 or 1469 – 24 December 1524)

ואסקו דה גמה הפורטוגזי עוקף את כף התקווה הטובה ומגיע
 להודו בספינה



ציור: מסע מרקו פולו לסין דרך מונגוליה - סוסים וגמלים

מ

צי

24)

מרי

24)

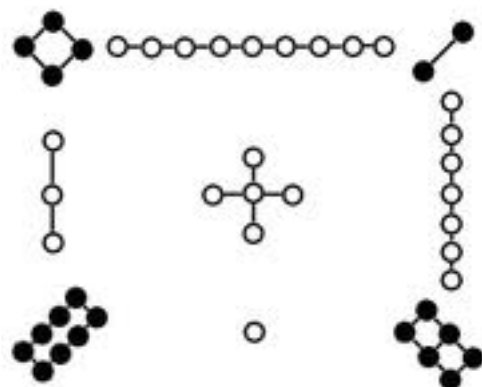
ואכ

לה

י

י

יין



4	9	2
3	5	7
8	1	6

משחק אהוב על המתמטיקאים הסינים:
קוביות קסם סיניות
משמאל: בכתובת מספרים סיניים ובמספרים של היום

2	16	13	3
11	5	8	10
7	9	12	6
14	4	1	15

12	27	33	23	10
28	18	13	26	20
11	25	21	17	31
22	16	29	24	14
32	19	9	15	30

13	22	18	27	11	20
31	4	36	9	29	2
12	21	14	23	16	25
30	3	5	32	34	7
17	26	10	19	15	24
8	35	28	1	6	33

46	8	16	20	29	7	49
3	40	35	36	18	41	2
44	12	33	23	19	38	6
28	26	11	25	39	24	22
5	37	31	27	17	13	45
48	9	15	14	32	10	47
1	43	34	30	21	42	4

61	3	2	64	57	7	6	60
12	54	55	9	16	50	51	13
20	46	47	17	24	42	43	21
37	27	26	40	33	31	30	36
29	35	34	32	25	39	38	28
44	22	23	41	48	18	19	45
52	14	15	49	56	10	11	53
5	59	58	8	1	63	62	4

31	76	13	36	81	18	29	74	11
22	40	58	27	45	63	20	38	56
67	4	49	72	9	54	65	2	47
30	75	12	32	77	14	34	79	16
21	39	57	23	41	59	25	43	61
66	3	48	68	5	50	70	7	52
35	80	17	28	73	10	33	78	15
26	44	62	19	37	55	24	42	60
71	8	53	64	1	46	69	6	51

1	20	21	40	41	60	61	80	81	100
99	82	79	62	59	42	39	22	19	2
3	18	23	38	43	58	63	78	83	98
97	84	77	64	57	44	37	24	17	4
5	16	25	36	45	56	65	76	85	96
95	86	75	66	55	46	35	26	15	6
14	7	34	27	54	47	74	67	94	87
88	93	68	73	48	53	28	33	8	13
12	9	32	29	52	49	72	69	92	89
91	90	71	70	51	50	31	30	11	10

ביזנטיון

מדענים בביזנטיון

עם חלוקת האימפריה הרומית עלתה ביזנטיון כמרכז התרבות המערבית. הקירבה לאלכסנדריה, לערי אסיה הקטנה ולתרבויות המזרח העשירו וגונו את חיי התרבות והמדע.

אוריבסיוס (320–400) Oribasius

סיכם ידע רפואי

אנטמיוס (474–534) Anthemius of Tralles

גיאומטריה וארכיטקטורה – מבוני **כיפת הכנסייה הגיה סופיה בקונסטנטינופול** שהיתה הבנין הגדול ביותר בעולם בזמנו (עד לבנית הקטדרלה בסיביליה, ספרד).

ז'והן גרמריאן (490–570) John Philoponus או John the Grammarian

גופים נופלים בתאוצה (impetus) השווה לכולם, ולא בגלל האויר דרכו הם נופלים (לפי אריסטו).
אור השמש מחמם אויר על ידי חיכוך (ביטל קיום אתר).

סימפליסיוס (530) Simplicius of Cilicia

מבין מאריסטו שעצמת המשיכה של גופים למקומם הטיבעי משתנה לפי מרחקם ממקום זה

פאול מהעיר אגינה (625–690) Paul of Aegina

רופא ומנתח

בדה המכובד (672–735) The Venerable Bede

חקר גאות ושפל.

"אטום" זמני: 1/6 שניה, ומכאן אבחנת קולות בדיבור



כיבוש קונסטנטינופול ע"י הטורכים 1453 הבריחה מדענים לאיטליה והיתה ממניעי הרנסאנס

תור הזהב
באיסלם

החליפים בבגדד

בתקופת הארון א-רשיד (786-809) הוזזו הברמכים, משפחה ממוצא בודהיסטי, תמכו במלומדים, הקימו מפעל נייר ראשון בבגדד, וסללו את הדרך בתקופת בנו של א-רשיד, החליף אל-מאמון (786-833), להקמת "בית אל-חיכמה" – אקדמיה למדעים שתרגמה וחיברה סיפורות של מדע ופילוסופיה. אל-מאמון הפך את השכלתנות – מועתזלה – לדת מדינה. היא הושפעה מהפילוסופיה הקלאסית היוונית וממחשבה רציונאליסטית, והמועמדים למשרה שילטונית היו חייבים להוכיח חשיבה רציונאליסטית.

המדענים הגדולים של אותה תקופה היו ברובם ממוצא הודי ופקיסטאני, ובמיעוטם היו ערבים מוסלמים, שאף נרדפו ע"י האורטודוקסיה המוסלמית.



Al-Khwarizmi

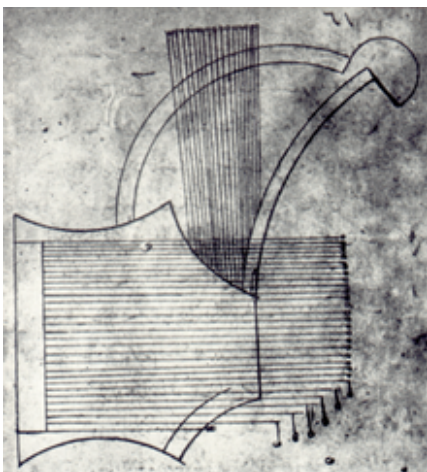
אלקריזמי 780-850 Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi
 820 על שמו המונח "אלגוריתם"

עומר קיים 1050-1123 Omar Khayyam
 טבע את המושג "אלגברה" **אלג'בר al-jabr** בערבית: איחוד
 חלקים שבורים – פותר משוואות ריבועיות וחקר משוואות
 פולינומיות.

$$ax^2 + bx + c = 0,$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

**ציור כלי נגינה
 בספר של אלפרבי**

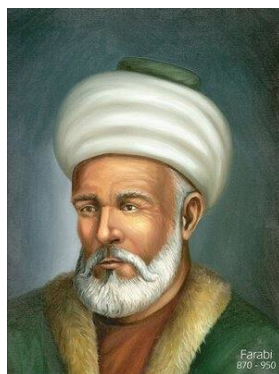


אלבטני 850-929 Al-Batani

בעירק. כותב מה שתורגם כאלמגסט **Almagest** :
 התיעוד האסטרונומי המדויק לפרצסיה של ציר סיבוב הארץ.

אלפראבי 879-959 al-Farabi abu Nasr

פילוסוף, מתמטיקאי **ומוסיקאי** אפגני-פרסי.
 השפיע על הרמב"ם





אל-קינדי 801-873 Al-Kindi – Alkindus
 הביא את **האפס מהודו**. מספרים ערביים ונקודה עשרונית בשימוש.

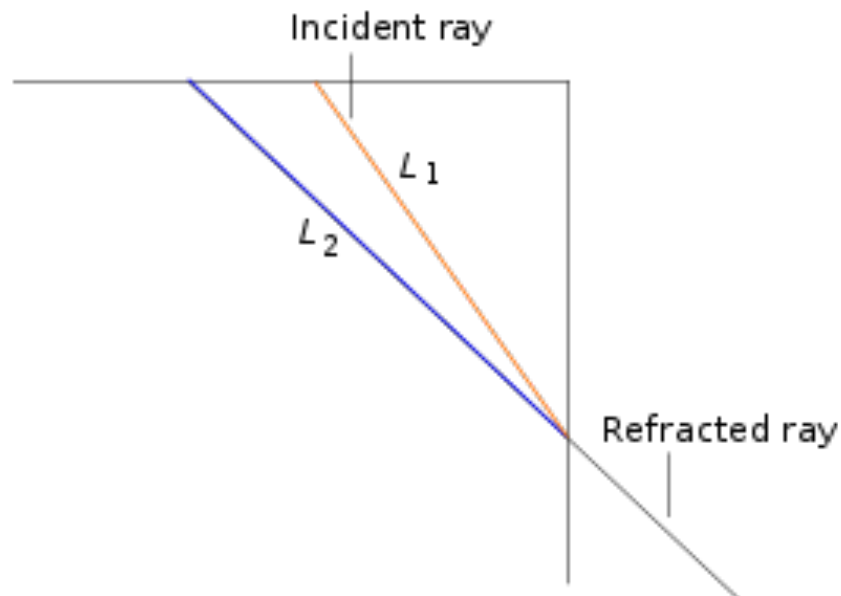
פיתח שיטות לפענוח **הצפנה** ע"י חישוב תדירויות שימוש של סימנים בכתב.

אופטיקה – ניתח את התיאוריות הקלאסיות לראיה: אריסטו:
 ראיה דורשת מגע דרך תווך (אוויר) שבין העין לבין העצם הנראה
אוקלידס: העין שולחת קרנים בקווים ישרים ורואה את
 ההחזרות מהעצם. זה מסביר מדוע עיגול נראה כקו מהצד,
 ואינו תואם להסבר של אריסטו לראיה דרך תווך תלת ממדי

אבן סהל (Sa'd al-'Ala' ibn Sahl) (1000-940)

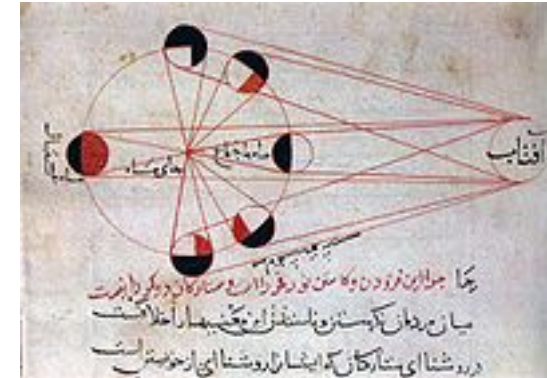
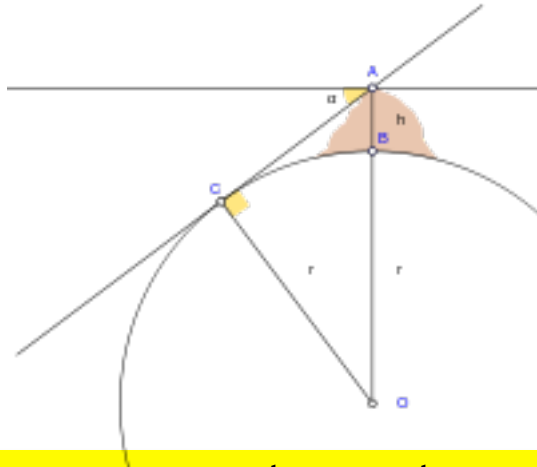
– חוק שבירת האור של סנל

נסיון: מדידת זווית שבירה בעזרת חצי כדור וליזר



בירוני Abū al-Rayhān Muhammad ibn Ahmad al-Bīrūnī 973-1048

בפרס, בוכרה ועירק. הטמיע בפרס מדע הודי.
אנטרופולוגיה, גיאודזיה, אסטרונומיה ומכאניקה



דיאגרמה לשיטה למדידת רדיוס כדור הארץ

הסבר למופע הירח

ובטהרן

פסלים של בירוני בטז'קיסטן



ז'אפר אבן מוחמד Ja'far ibn Muhammad
אבו מאשר אל-בלחי Abu Ma'shar al-Balkhi
אבו סעיד אל-סיצ'י Abu Said al-Sijzi

אסטרונומים רבים שעבודותיהם נכנסו למודל ההליוצנטרי של קופרניקוס:
Nasir al-Din al-Tusi, Mo'ayyeduddin Urdi and Ibn al-Shatir Averroes, Abu Said Sinjari,
Qutb al-Din al-Shirazi, and 'Umar al-Katibi al-Qazwini

אל-חזיני Al-Khazini 1121

תלות כח המשיכה ואנרגיה פוטנציאלית במרחק. ירידה בצפיפות האויר בגובה

אבן חלדון Ibn Khaldun

מדעי החברה היסטוריה ותרבות

אבן יאנוס Ibn Yunus ~1000

במצרים - מטוטלת. מיד יושם בשעונים במגדלי ערים באירופה.

א-ז'זארי Al-Jazari 1206

המצאות מכאניות

אל קינדי Abu Yusek Yacob ibn Ishak al-Kindi (Alkindus) 850

אופטיקה, רפואה, שלל טרנסמוטציה של מתכות

עומר כיאם Omar Khayyam 1079

חישוב אורך השנה = 365.24219858156 ימים מתקצר במקום הששי בחיי אדם: היום 365.242190
פתרון משוואה מדרגה שלישית בדרך אלגברית וגיאומטרית

אל בגדדי Awhad al-Zaman Abu'l-Barakat al-Baghdadi 1120

אבן עזרא Abraham ben Meir Ibn Ezra 1145

הפיץ את השימוש באפס

אל פאריזי Al-Farisi (born 1260)

גורמי חלוקה ושיטות קומבינטוריות

אל קאשי Al-Kashi (born 1380)

$$(1+x)^n = 1 + nx + \dots$$

אלגוריתם לחישוב שרש מדרגה n המבוסס על קירובים איטרטיביים

נאסיר א-דין אלטוסי Nasir al-Din al-Tusi

מתמטיקאי

אבן חלדון Ibn Khaldun

חלוץ מדעי החברה: דמוגרפיה, הסטוריה של התרבויות והסטוריה מדינית

אבו אל קאסים Abu al-Qasim

כלי ניתוח, (סכין נתוח, מזרק, מלחציים) ספרי רפואה – משכלל את עבודות ההודי Sushruta

אל ג'אהיז Al-Jahiz

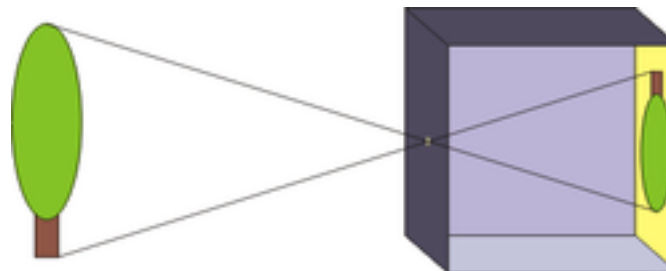
מתאר מאבק קיום בטבע, ושרשרות מזון.

אל דינווארי Al-Dinawari

אבי הבוטאניקה הערבית – ספרו מתאר 637 צמחים, התפתחות הצמח מלידה למוות, פרחים ופרות.

האופטיקה בצורתה המודרנית נולדה בעקבות עבודותיהם של מדענים איסלמיים ביניהם **אבן סינא** (Ibn Sina 1037–980), **אבוריהן אל-בירוני** (al-Bīrūnī 1048–973), **קטב אל שירזי** (al-Shirazi 1311 – 1236), **קמל אל דין אל פריסי** (Al-Farisi 1320 – 1260) ומעל כולם מעבודותיו של **איבן אל-הייתם** (Ibn al-Haytham (Alhazen) 965–1040 שחשב למדען הגדול ביותר של התקופה. **אלחזן** ומדענים מוסלמים נוספים היו הראשונים לתת את ההסבר המקובל היום לראייה, העין כאלמנט אופטי): קרני האור יוצאות מהשמש **לכל הכוונים, מתפשטות בקווים ישרים, פוגעות בעצמים ולאחר מכן מוחזרות לעין**, זאת בניגוד להסברים המקובל ביוון העתיקה שהאור יוצא מהעיניים). בהמשך לאוקלידס, הירו ותלמאי שתארו את הבסיס הגיאומטרי לאופטיקה, **אלחזן** הראה שהאור נע בקווים ישרים. **אלחזן ואבן סינא** מדדו את חוקי ההחזרה והשבירה של האור במעבר בין אויר לחומר – הבסיס לעדשות ומראות ממקדות.

אלחזן המציא את הקמרה אובסקורה (מצלימת חריר) ואת תגליותיו בתחום האור פרסם בספר בשם ספר "**האופטיקה**" שנחשב יחד עם ה"פרינקיפיה" של ניוטון לאחד הספרים המשפיעים ביותר בהיסטוריה של הפיזיקה., צייר אופטיקה של מראה כדורית ופרבולית. הבין סטיות כדוריות spherical aberration. התנגד למודל תלמאי לתנועת הכוכבים.



[illegible]

אופי פיזיקאלי לאור: **אל בירוני** היה הראשון לגלות שמהירות האור גדולה בהרבה ממהירות הקול.

אבן בז'ה Ibn Bajjah (Avempace) ~1150

גילה את התגובה לכח - החוק השלישי של ניוטון

אבול-ברקט Hibat Allah Abu'l-Barakat al-Baghdaadi (Nathanel) ~1150

הקשר בין כח לתאוצה - לא למהירות: הקדים את חוק ניוטון השני ב-570 שנים (1687).
בסיפרו Ktiah al-Mu'tabar (ספר ההתרשמויות האישיות) בניגוד לאריסטו, תיאר האטת אבן
בכוון הזריקה האפקי, והאצה באנכי

אוורוס Ibn Rushd (Averroes) ~ 1150

קשר בין כח ו**אנרגיה קינטית**. שלילת התנועות של אפיציקלים שהציע תלמאי

אלג'זארי al-Jazari 1206

שימוש ב**גלגלת** ובחוקי ארכימדס. חלוץ בהבנת תנע בתנועה, רפואה

אבן סינא Avicenna 980-1037

- גופים נעים בגלל כוח, ולא "שאיפה" לפי אריסטו

בהשקרה Bhaskara 600-680 -

מתמטיקאי הודי, מפתח את הבסיס המתמטי ל**חשבון דיפרנציאלי** - מושג המשיק והשיפוע

(אמנם טופל גם ע"י היוונים). קירוב מצויין לסינוס: $(0 \leq x \leq \frac{\pi}{2})$
$$\sin x \approx \frac{16x(\pi - x)}{5\pi^2 - 4x(\pi - x)},$$

מדענים בספרד

אבן פירנאס (810 – 887) Abbas Ibn Firnas

מתמטיקאי וממציא של עדשות זכוכית למשקפים, של מצנח , 875 – קפץ ממגדל קורדובה במעיל גדול שנפרס כמצנח , ושל דאון , 875 דאון מעץ ונוצות שאיפשר שליטה בגובה וכוון טיסה)

אל-מג'ריטי (d. 1008) Maslamah al-Majriti

מתמטיקאי, אסטרונום וכימאי (תחמוצת כספית, חוק שימור מסה 500 שנה לפני לבואזיה)

ארזאחל (1028–1087) Arzachel

אסטרולב שאינו תלוי בקו הרוחב (ציטוט מקופרניקוס)



מדענים בספרד - המשך

הרמב"ם Maimonidas 1190

רופא, מנתח והוגה דעות שחיפש את ההגיון בחוקי היהדות, "מורה נבוכים" מספריו הרפואיים: תזונה, התעמלות ובריאות הנפש. סיכומים קריטיים ממורשת גלן, לקט ברפואה מונעת לפי היפוקרטס, על הקצרת (אסטמה), הקשר בין בריאות למצב נפשי, ביקורת נגד דעות קדומות ואמונות שוא (הקדים את בייקון ופרצליוס), מערכת העיכול, תרופות, הרעלות והכשות נחשים, הדרכה סקסולוגית. לקט של כ-2,000 תרופות וגורמי תמותה.

שלמה אבן גבירול (1050) Solomon ben Judah Ibn Gabirol, or Avicebron

משורר, אך גם פילוסוף שעסק במטפיזיקה, חמר ויקום.

סלרניטנוס (1140 – c. 1195) Rogerius Salernitanus

רופא ומנתח. סיפרו Chirurgia Magna נחשב ספר לימוד יסודי בבתי הספר לרפואה בבולוניה איטליה. חבישה בחלבון ביצה לפצעים פתוחים. אין שיקום (רגנרציה) לעצבים שנפגעו.

אבן אל-בייטר (1248-) Ibn al-Baitar

בוטניקאי ורוקח - אסף 1400 צמחים המשמשים לתרופות ולמאכל

ארכיטקטורה ואומנות



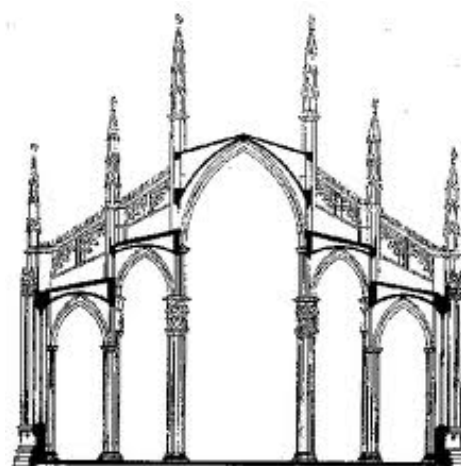
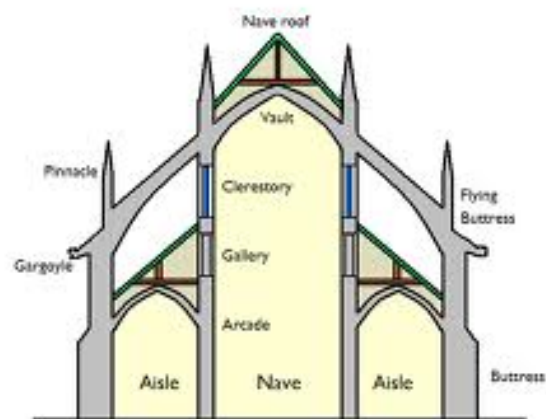
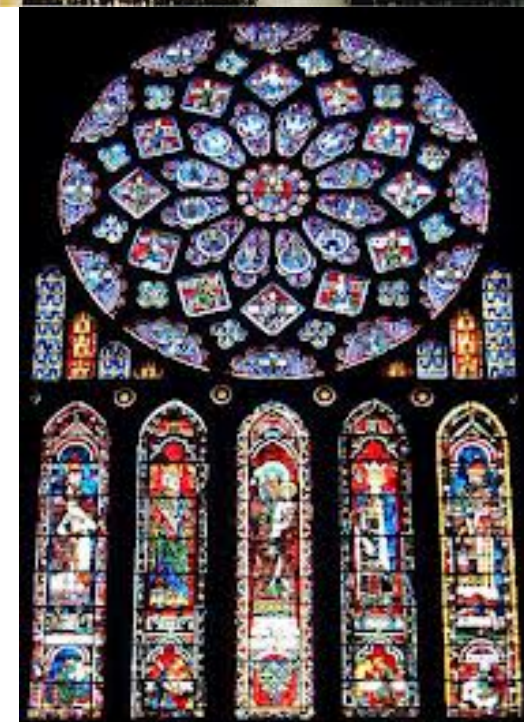
a barrel vault required continuous edge support window sizes were therefore kept small



the rib-vault together with the flying buttress allowed the concentration of forces and the walls to be opened up

ארכיטקטורה רומנסקית (עד ~1100)

ארכיטקטורה גותית (מ ~1100)





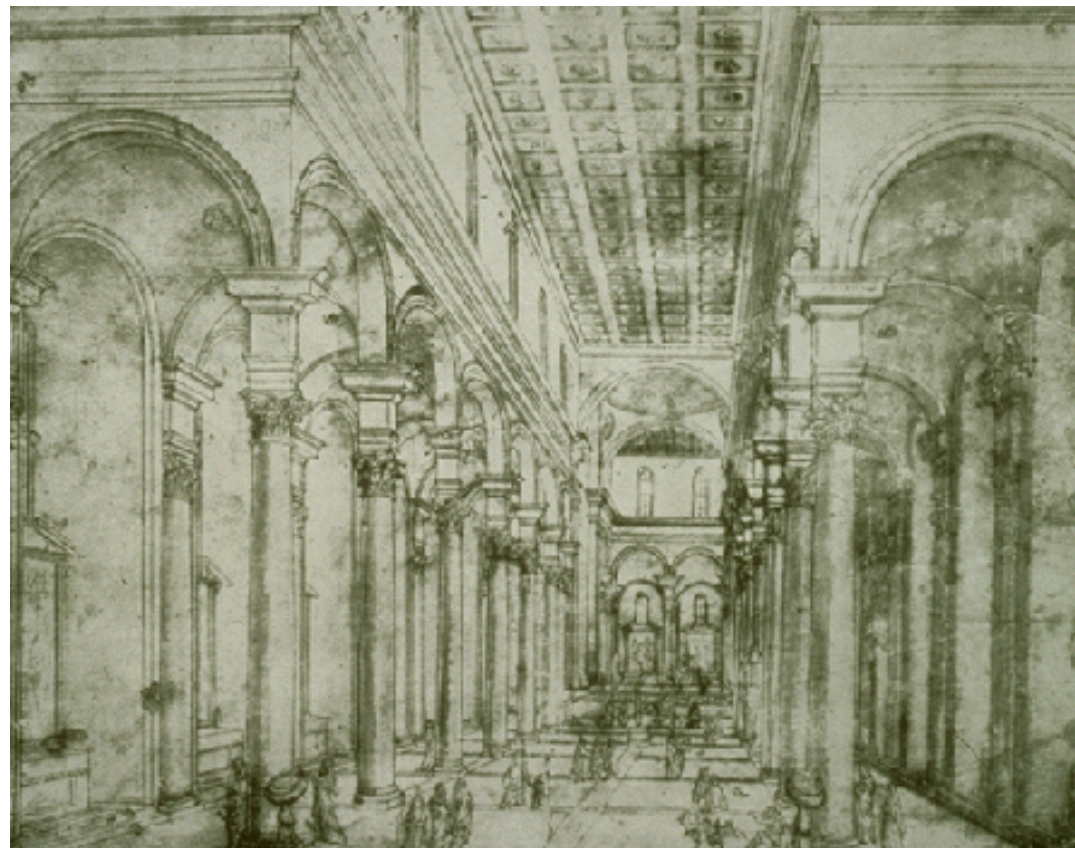
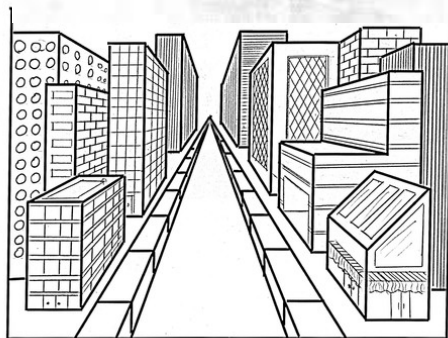
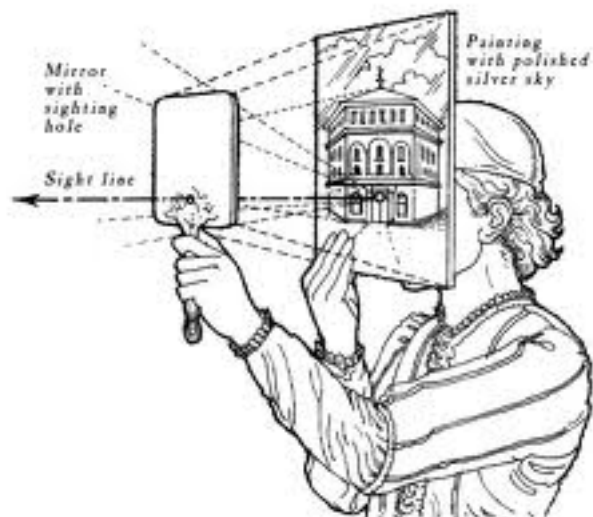
הכוחות הסטאטיים במבנה כיפה ותמיכותיו
שים לב לתמיכה המגושמת במרכז אולם אבירים
בעכו, מול העמודים הדקים והחיזוק החיצוני
בכנסית נוטרדם הברוקית.



ארכיטקטורה – הגיה סופיה בקונסטנטינופול, הכיפה הגדולה בעולם בזמנה.
אלהמברה באנדלוסיה – עמודים דקים באולמות, ומבני תמיכה מסיביים מבחוץ



1420 **ברונולסקי Filippo Brunelleschi** מבסס פרספקטיבה על אופטיקה ומשתמש בה בציוריו. (ראה נקודת פגישה אחת או שתיים: בפרק על גיאומטריה והיטל מפות בעולם הקדום והקלאסי)





ג'וטו Giotto di Bondone 1266-1337

צייר וארכיטקט פלורנטיני. אייר את הקפלה Scrovegni בפדואה
מחייה הסגנון הרומי בפרסקות בקפלות בהם צייר בטבעיות גוף ומרחב

פורטרט של
דנטה אליגיירי
שצייר ג'וטו

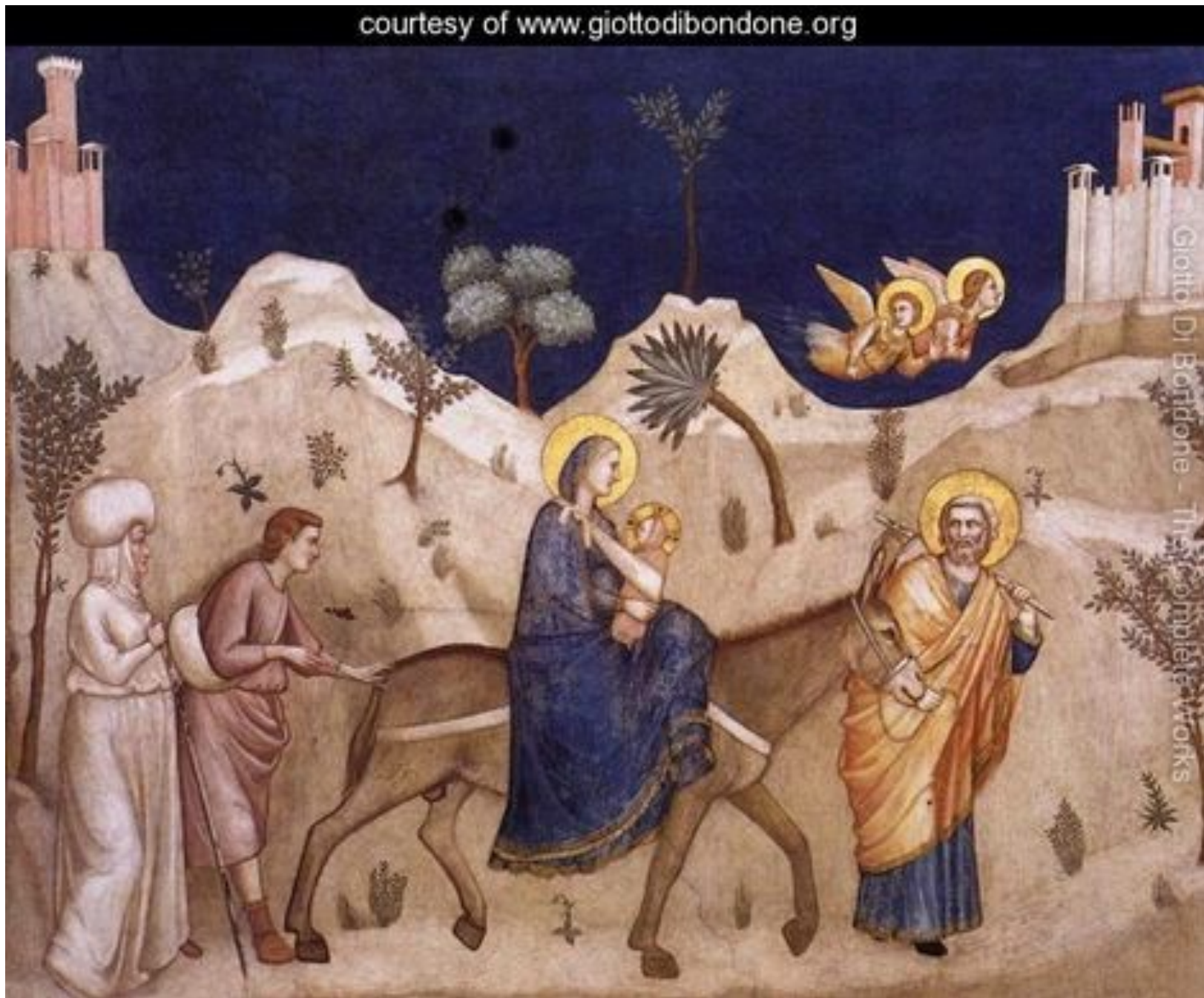


מגדל
הפעמונים
של ג'וטו
בפירנצה



הירידה מצריימה – ג'וטו

courtesy of www.giottodibondone.org



ספרות



דנטה Durante degli Alighieri- Dante 1265-1321

משורר וסופר איטלקי. מחבר "הקומדיה האלוהית" –
שלושה ספרים: התופת, כור המצרף וגן עדן.
מתואר מסע בטבע האנושי מלא מוסריות, חמלה מתוך משמעת דתית.
נכתב באיטלקית פלורנטינית, ולא בלטינית, במבנה של שירה.
הוא היה נבחר ציבור בפירנצה שלחם לשחרור משלטון האפיפיור,
נידון לגלות, מת בוורונה, והפך לגיבור לאומי איטלקי. לאחרונה
הועבר קיבורו בחזרה לפירנצה.



פטררקה 1304–1374 Francesco Petrarca

משורר שנחשב עם דנטה ובוקצ'ו למייסדי האיטלקית המודרנית
מתואר כ"אבי ההומניזם"
פואמה ללאורה: מתייחס לאשה לא כסמל רוחני אלא בעלת רגשות.



בוקצ'ו Giovanni Boccaccio 1313-1375

משורר וסופר שהושפע מפטררקה ועבד בפירנצה ומילאנו.
כתב "דקמרון" (10 ימים) המכיל סיפורים שסופרו על ידי גברים ונשים שברחו לטירה מהמגיפה בפירנצה. חלק מההעתיקים אויירו על ידיו.

עיטורים
לדקמרון



כימיה

השליטה של ה"פילוסופיה היוונית" בתיאוריות כימיות פשטניות (4
"שרשים" או יסודות כימיים) מתרופפת מול המציאות הנסיונית הערבית,
המגוון הגדל של חומצות, בסיסים ואלכוהולים בשימוש, והשתפרות
הטכנולוגיות של כבשני היתוך.

חמרי נפץ 900 לספירה – נזירים סיניים יוצרים זיקוקים מתערובת אשלג, פחם וגופרית.
1260 הממלוכים משתמשים ב"תותח יד" בקרב עין גלוד (עין חרוד) נגד המונגולים
1453 שימוש בכיבוש קונסטנטינופול ע"י המוסלמים

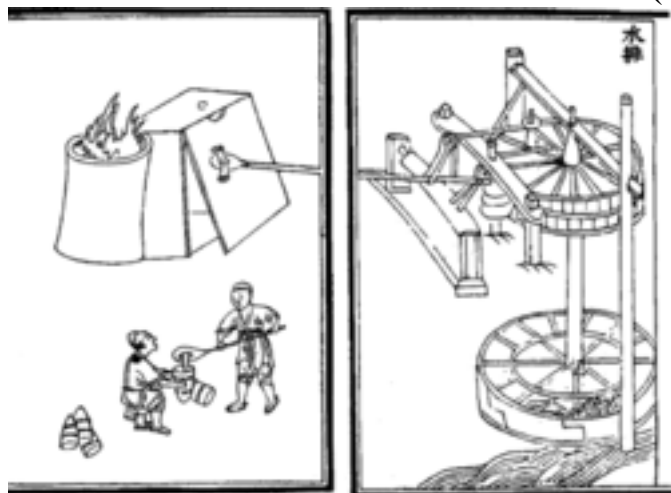
חוק שימור מסה בריאקציות כימיות (תחמוצות כספית)
טרנסמוטציה למתכות לא אפשרית (יצירת זהב) בידוד נחשת, ארסן, ביסמוט ואבץ
חישול פלדה (חרבות מפלדת דמשק) קרמיקה ופורצלן (מסין)
מיצוי חמרים בזיקוק באלכוהול. זיקוק ליקרים מיין באירופה

אלברטוס מגנוס הגרמני בודד ב-1250 את היסוד זרחן **Albertus of Bollstadt–Magnus**
במרכז אמריקה – עישון טבק ולעיסת קוקה

1430 קפה יובא לחצי האי ערב מאפריקה. בגלל התנגדות הכנסיה חדר לאירופה לאט. בית
קפה ראשון בלונדון 1572.

מהמאה ה-13 נזירי המסדר הסיסטריאני Cistercian monks פיתחו כורי היתוך במגדלים
המחוממים באויר חם (1300 מעלות) שנדחס במפוחים המונעים במים. כור כזה נמצא
בלסקיל, אנגליה Laskill וכנראה יובא מסין (ראה רישום סיני)

גילס הרומאי 1290 – **Giles of Rome** אטומיזם



לפי אריסטו כל החמרים מורכבים מארבע יסודות:

אש- חם ויבש

אדמה- קרה ויבשה

מים- קרים ולחים

אוויר- חם ולח

מאחר ומתכות מופקות מעפרות, האמינו שבשינוי היחסים בין ארבעת היסודות אפשר להפיק זהב ממתכות אחרות

האמינו באבן הפילוסופים (או אבקה מהאבן) היכולה לשנות את היחסים בהרכב, וכך להמיר חומר לחומר אחר (טרנסמוטציה) כגון מתכות לזהב



כימאים ערביים



גבר 815 Abu Musa Jabir ibn Hayyan (aka Geber),

נחשב ל"אבי הכימיה" בודד חומצות מענבים, מתססת פרות, מלימונים, ומשריפת גפרית ואמוניום כלוריד. כימיה של כספית וגפרית

HCl

HNO₃

C₆H₈O₇ CH₃COOH C₄H₆O₆

Hydrochloric & nitric acids, aqua regia, citric, acetic & tartaric acids

גבר יישם סקלה להערכת אפקטיביות תרופות, בסיס תיאורטי וניסיוני לכימיה

רזי 854 – 925 Muhammad ibn Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyā al-Rāzī (Rhazes)

תיאור שיטות זיקוק נפט ואלכוהול, מיון חמרים (מלחים, מתכות, חומצות וכו')
ייצור פלדות

כפר בתורת 4-ההומורים של גאלן וב-4 האלמנטים של אריסטו
בגלל נסיונות שביצע



אל-פברי מפרס ודמשק – השפעה על הרמב"ם 872–951 Al-Farabi

אבן סינא מחבר הקנון הרפואי 980–1037 Avicenna

אל-ר'זאלי פילוסוף 1058–1111 Al-Ghazali

אלקינדי כפר בטרנסמוטציה של מתכות – 9th century Al-Kindi (Alkindus)

כימאים באירופה

1220 Robert Grosseteste מפרסם הערות על אריסטו ושיטות מחקר מדעי

1267 Roger Bacon מפרסם על שיטות מחקר מדעי ונסיונות באבק שריפה

ARSENIC 1250 **Albert the Great (1193–1280)** ארסן **אלברט הגדול**

הראשון שהפיק ארסן חפשי מחימום סבון עם המינרל אורפימנט

arsenic trisulfide [\$\text{As}_2\text{S}_3\$](#) bright yellow mineral orpiment.

Pseudo-Geber, 1310

אלכימאי ספרדי אנונימי שפירסם בשם גבר, וטען שכל המתכות בנויות מכספית וגפרית ביחסים שונים

Arnold Bochmove de Villanova, (1235 – 1310)

זיקוק יין ע"י קירור הבקבוק

1332 תפריט לייצור ליקרים, ג'ין

BISMUTH 1500

ZINC 1500

Paracelsus 1530

פרצלזוס – הראשון שטבע את המילה כימיה .

הבסיס לפרמקולוגיה . שרף את כיתבי גאלן כי בדומה להיפוקרטס ואריסטו הם

שגויים. הבין שמחוללי המחלות באים לגופנו מבחוץ – והקדים במאות שנים גילוי

החידקים

Andreas Libavius 1597

ליבביוס פירסם "אלכימיה"

COPPER 850

המורים בספרד משקיעים נחשת נקיה ממלחיה בעזרת ברזל – מעין אלקטרוליזה

פיזיקה

במשך כל ימי הביניים היו אסכולות שדגלו בתורת אריסטו, והיו גם כופרים בה.
הפרנציסקאנים באוקספורד – שללו חלק מתורתו מסיבות דתיות,
רוז"ר בייקון Roger Baker שלא היה דתי קיצוני התעניין בתורתו של אריסטו
באוניברסיטת פריז – הדומיניקאנים כמו

אלברטוס מגנוס ותומס אקווינס Albertus of Bollstadt–Magnus (1250) Thomas Aquinas
קיבלו את כל תורת אריסטו מלבד דטרמיניזם (הכל ידוע מראש) (לשם שילוב נצרות ומדע)
אחרים **כסיגר דה ברבנט Siger de Brabant** קיבלו גם דטרמיניזם
בדרום צרפת (מונפליה) ואיטליה (סלרמו, פדואה, בולוניה) הדת שלטה פחות, וההשפעה
הערבית, בעיקר ברפואה, היתה ניכרת.

קיטא אל-שיפה Kitah al-Shifa

שיפא: ביטל תורה של אריסטו שזריקת גוף מונעת ע"י האויר: התנועה בגלל תכונה של הגוף
עצמו (תנע)

ג'והן פיליפונוס 517, John Philoponus

פילופוניוס: חוקר תנועת גופים –

סימפליציוס מסיליסיה 530, Simplicius of Cilicia

סימפליציוס: גרביטציה – נטית גוף ליפול. תאוצה יחסית להפוך המרחק...

ז'והן בורידן אוניברסיטת פריז Jean Buridan (a. 1295-ca. 1358)

תורה קינמאטית לתנועת גופים. תנועה במהירות קבועה. תיאוריה של תאוצה impetus
והתמדה inertia. תאוצה שוה לגופים נופלים כבדים וקלים (מגדלים). שונה מאריסטו
ומוביל לחוקי ניוטון.

וולריוס קורדוס 1540 Valerius Cordus

תורת האתר

מגנטים ומצפן:

1190 מצפן מחט מגנטית באיטליה

1269 Pélerin de Maricourt פלרין דה מריקור

תיאר קטבים מגנטיים ומציין שלא ניתן להפריד ביניהם

Petrus Peregrinus of Picardy, Italy פרגרינוס

מכוון מחטים בכוון קטבי אבני מגנט

שעונים:

1335 השעון המכאני הראשון במילאנו.

מטוטלת ושעונים במגדל העיר ברואן **1389** צלצל כל 1/4 שעה

1364, Giovanni di Dondi ג'ובני די דונדי

בונה שעון עם תאריכים. **1370**, שעוני פריז מסונכרנים

אופטיקה:

1305 — Dietrich (Theodoric) von Freiberg דיטריך מפרייברג

השתמש בכדורי זכוכית ובקבוקי מים להסביר החזרה פנימית ונפיצת אור בטיפות מים
ליצירת קשת

Alessandro della Spina 1285 דלה-ספינה: המצאת משקפיים לקצרי ראייה

1451 ניקולס מקוזה: עדשות קעורות למשקפיים **Nicholas of Cusa** יתכן שלמדו מהסינים
ליטוש עדשות זכוכית (משקפיים-**רוגר בייקון, 1266**), חוק הרפרקציה (נפיצה) "של סנל",
קמרה אובסקורה – הדמית השמש. מראות כדוריות ופרבוליות. אברציות.
ראיה מאור הנופל על העין ולא מאור היוצא מהעין (לפי אריסטו)



תומס אקינס 1227–74 Thomas Aquinas

תיאולוג ונזיר דומיניקאני איטלקי שפיתח דרך להוכיח טענות דתיות ולהתאימן לגילויים מדעיים (ולכן הוכרז כקדוש אחרי מותו...)

יורדנוס מנמורה 1230 Jordanes de Nemore

מעניק ניסוח מתמטי לחוק המנוף של ארכימדס $fm=constant$

וויליאם ממורבק 1260 William of Moerbeke

תרגום כתבי ארכימדס והירו ללטינית

רמון לול 1274, Ramon Lull

המוח האנושי: סופי - הטבע: אינסופי

סקוטוס 1290, John Duns Scotus

הוויית הקיום

רוג'ר בייקון 1267–1268, Roger Bacon

ניסוח כללי אבחנה, מדידה, נסיון ואימות מדעיים

ויליאם סווינסהד (סויסת) "המחשב" מאוקספורד

William Swineshead

טוען שכל ישות פיסיקאלית ניתנת למדידה, ואין יחס בין אינסוף ומספר סופי.

ויליאם איש אוקהם (1287–1347) William of Ockham

מציג את "תער אוקהם" **Ockham Razor 1328** עקרון החסכנות בהנחות

לוגיות והסברים פיסיקאליים: העדפת הסבר הפשוט ביותר. אבן דרך מדעית!
קינמאטיקה ודינאמיקה של תנועה



*

1328, Thomas Bradwardine, William Heytesbury, Richard Swineshead & John Dumbleton
מהירות ותאוצה – Merton College, Oxford

Jean Buridan 1298-1358 בורידן

1350 זן בורידן: מציע (בניגוד לאריסטו) שגוף נע משום שקיבל "דחף" (תנע) העומד ביחס ישר למסה ומהירות.

1361 Nicole Oresme ניקולא אורם

אורסמה: קואורדינטות, מרחק תנועה=מהירות ממוצעת * זמן

Nikolaus von Cusa 1401–1464 ניקולא מקוסה

1440 ניקולס איש קוזה הגרמני: טוען שהאסטרונומיה נוהגת לפי חוקים פיסיקאליים שניסוחם מתמטי. המח סופי וטבע איסופי – לכן הבנתנו אסימפטוטית לאמת. הארץ נעה סביב השמש. כוכבים הם שמשות. נסיון המראה שצמחים שואבים מזון מהאוויר.

1230, Vincent of Beauvais וינסנט מבווה

וינסנט מבובה: מהירות האור סופית. מתפשט בדומה לגלי קול
זוית מכסימאלית של הקשת 42° כשהשמש קרובה לשקוע

לסיכום: הרבה התעסקות עם הפילוסופיה של המדע והתאמתו לדת.

אסטרונומיה ומדעי כדור הארץ

אסטרונומיה – מדידות מדוייקות לתנועת כוכבים וזוית נטיה של ציר הארץ
בסיס לעבודת קופרניקוס

מדידת קו רוחב במדוייק מליקוי חמה: **איך? (שעונים)**
מצפן (מסין – מזכר ע"י הנזיר האנגלי אלכסנדר נקם) **ואצטרולב** – מחשב מיקום לפי
הכוכבים ולניווט ימי (אל-בירוני)

1024 אסטרונומים סיניים צופים בהתפוצצות סופרנובה בערפילית סרטן: השמים אינם גביש

וולכר ממלברן 1091 Walcher of Malvern

חזה בליקוי חמה באיטליה וחישב את קו הרוחב של אנגליה מהזמן בו נצפה הליקוי שם.

עומר אל-חיאם קובע את אורך השנה בדיוק של 11 ספרות

הרמב"ם ממזג עיקרי היהדות ופילוסופיה אריסטוטאלית. אסטרוולוגיה היא "הבל".

ניקולא אורם 1320 / 1325–1382 Nicolas Oresme

1377 ניקולה אורם: מוכיח שהארץ מסתובבת על צירה וכוכבי השבת

נייחים. כזכור, סיבוב תמונת הכוכבים בלילה גרמה לקדמונים להאמין שהם
טבועים בכדור קריסטל שהארץ במרכזו.



אבן סינא 980-1037 Ibn Sina (Avicenna)

אבן סינא: גיאולוגיה: מציע שתי סיבות ליצירת הרים: התרוממות קליפת
כדור הארץ, כמו ברעידות אדמה, או בגלל תהליכי סחף ושחיקה של מים
הפועל באופן שונה על קרקעות וסלעים שונים

אלברטוס 1260 Albertus

ספר גיאולוגיה על סמך ממצאי המאובנים של אבן סינא Avicenna. הראשון שבודד ארסן נקי

סיגר 1260 Siger

גאות ושפל

אסטרונומיה ערבית

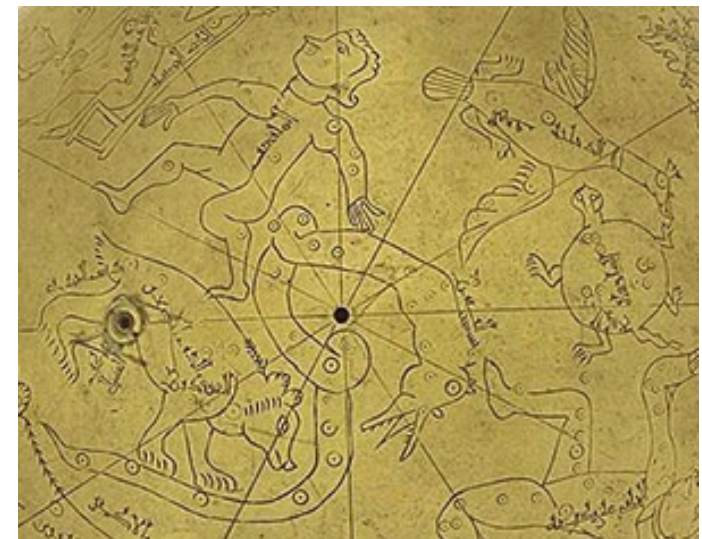
בעולם האיסלאמי, כמו ביהודי, האסטרונומיה שימשה לצרכי דת: לקביעת מועדי 5 התפילות היומיות ולקביעת הכוון של מכה, אך גם לצרכי מסחר ונווט, בעיקר מחוץ לים התיכון – באוקינוס האטלנטי וההודי.

כדי לקרוא את מיקום הכוכבים בשמים פותחה טריגונומטריה כדורית, חוברו טבלאות אסטרונומיות, ונבנה מיכשור למדידת מיקום כוכבים: אסטרולב וקוודרנט.

astrolabe, quadrant, equatorium torquetum.

האסטרונום במאה ה-11 מטולדו **אלזרקלי al-Zarqâlî** הפיץ טבלאות אלה באירופה, יחד עם מונחים ערבים כגון *zenth, azimuth, nadir, almucantars*.

בתמונות אנו רואים גלובוס שמים שחתום ע"י אברהים בן סעיד ובנו מוחמד בשנת 478 של ההגירה (1085 לספירה) מוולנסיה, ומכיל כ-1025 כוכבים מהקטלוג של תלמאי. טבעת של מסלול השמש – אקליפס, נוטה כלפי טבעת ציר סיבוב הארץ – קו המשווה. בסיס הכדור על שני צירים מאפשר לכוון את קו הרוחב של המשתמש והאופק שלו: כדי לדעת מתי כוכב עולה. מטים את ציר הכדור לקו הרוחב, (360^0) והזווית בין השמש והכוכב נותנת את שעת זריחתו.



**אסטרולב
ערבי
(משני צדדיו)**



לראשונה הפרדה בין אסטרונומיה ואסטרולוגיה
שימושים לספנות, קביעת ראש חדש: זמן הופעת מגל הירח, (לא כמו ביהדות: ראש חדש
בירח מלא).
מצפי כוכבים באירן, בגדד, דמשק. גילו סטיות ממודל תלמאי ב"אלמגסט" (שם הספר
בתרגומו הערבי).
מדענים מוסלמים החלו לטעון שהחלל פחות צפוף מהאוויר, ממצאים שהכוכבים אינם
מוצקים, שיערו את חוק משיכת המסות ויישמו לתנועת הכוכבים

טריגונומטריה מישורית וכדורית – טבלאות ושימושים מדעיים
נווט ימי – אסטרולאב ומצפן

אבן אלשטיר Ibn al-Shatir

תנועת הירח וכוכבי הלכת

אבן אלח'יטאם al-Battani, Ibn al-Haytham

תיקונים למודל הגיאוצנטרי

Ja'far ibn Muhammad Abu Ma'shar al-Balkhi, Abu-Rayhan Biruni, Abu Said al-Sijzi,
Qutb al-Din al-Shirazi, and 'Umar al-Katibi al-Qazwini & Averroes

דנו במודל הליוצנטרי

Maragha astronomers: Nasir al-Din al-Tusi, Mo'ayyeduddin Urdi and Ibn al-Shatir

השפיעו על קופרניקוס

.

בהודו

Aryabhata (476-550), in his *Aryabhatiya* (499) and *Aryabhata Siddhanta*

אריבהרטה – מודל הליוצנטרי לחוק המשיכה, מסלולים אלפטיים,
הקף כדור הארץ, שנות הסיבוב של כוכבי הלכת סביב השמש
הגדיר פונקציות טריגונומטריות וחישוב טבלאות
טכניקות אלגבריות

7th century, **Brahmagupta**

ברהמגופטה – מכיר בכוח המשיכה של הגראויטציה
האפס כספירה וכשומר מיקום בהצגה עשרונית – ספריו תורגמו לערבית ובמאה 9 לאירופה

12th century **Bhāskara** the *Siddhanta Shiromani*

בהסקרה – מיקום ממוצע לפלנטות ברקיע, מול מיקום אמיתי, תנועה יומית, צימוד תנועת של
הארץ והשמש והתנועה ביחס לכוכבי שבת, ליקויי חמה וירח, צורת הירח.
חקר את הכדור וביסס עליהם חישובים אסטרונומיים

14th-16th century **Kerala school of astronomy and mathematics: Madhava of Sangamagrama**

תרומות למתמטיקה לאסטרונומיה ולקלוקולוס

טכנולוגיה

גלגל טויה לכותנה וצמר (הודו)

793 ניר: המצאה סינית, ייצור ניר הובא לבגדד.
1437 אירופה – גוטנברג **Johann Gutenberg, 1437**
מיישם הדפסה בלוחות עם אותיות משתלבות
1455 **גוטנברג** מדפיס את התנ"ך.

1477 **לואי ה-9** מייסד שרות דאר ציבורי.

1492 מסע קולומבוס, וכיבוש גרנדה מהמורים (רקונקויסטה).

1485 תחילת מלכות הטיודורים באנגליה.

מנינו מקודם טכנולוגיות שהובאו מסין:
רציף מספנות לבנית ותיקון אניות, קליבר, משאיבת בוכנה, מחרשת ברזל, מזרעה, מריצה,
מכונת ניפוי, מאוורר, מדחף, מצנח, גשר תלוי, גאז טיבעי לחימום, גפרורים, קשת,
מפות תבליט

טכנולוגיות של מלחמה

1241 המונגולים משתמשים בעפיפונים מוארים בקרב לגניקה בפולניה battle of Legnica

איילמר 1010 Eilmer of Malmesbury

בנה דאון עץ שנסק ממגדל פעמונים למרחק 200 מטר

בייקון 1250 Roger Bacon

תיאור טכני של תעופה – תכנון אורניטופטר

מרקו פולו (1300 יצא ספר מסעותיו – 1282 דווח על עפיפונים פולחניים ומאויישים)
(מצנחים) (ממגדל).

דנטי דה לה פורטה 1496 Giambattista Danti della Porta

המתמטיקאי הנוסק ממגדל. 1558 פירסום על תיאוריה ותרשימים לבנית עפיפונים
1500 הרונימוס בוש Hieronymus Bosch צייר קרב בין ספינות אויר מעל עיר בוערת



ציור של הרונימוס בוש
בו עפות ספינות מלחמה
מעל העיר הבוערת

טכנולוגיות של מלחמה - המשך

יציקת ברזל, כור היתוך עם נשיפת אויר, חיסום פלדה לחרבות.
תחילת המאה ה-8 רסן ופרסות סוסים מברזל, מושכות וארכובות לסוסים שיריונים לאדם ולסוס ((מסין כבר ב-477, והפרסים ב-694 ומשם לצלבנים)

פיתוח קשתות וחיצים, תותחים ורובים
תחילת המאה ה-11 קשת עם כוונת והדק שחרור.
1139 - רובי קשת הוצאו מהחוק בישיבה האקומנית השניה - הנסיון הראשון **לפיקוח על הנשק**

פצצות אש היו כבר בשימוש ע"י הרומאים (הושלכו בקטפולקות) עם התהדקות קשרי המסחר בין אירופה לסין-נייר, אבק שריפה, דפוס. נשק מבוסס אבק שריפה – מיוחס לברתולד "השחור" 1313 שיצק תותח מארד, שכנראה הובא עם פלישת המונגולים במאה ה-13.

ייצור רקיטות עם דלק מוצק (גם רב שלביות) – הובא מסין.

673 צי הסולטן העותמאני (טורכי) משתמש ב"אש יוונית" במצור על קונסטנטינופול. "פגזים של נפט, סיד חי, גפרית וזפת.

1260 הממלוכים משתמשים ב"תותח יד" בקרב עין גלוד (עין חרוד) נגד המונגולים

1320 התחלת שימוש באבק שריפה למטרות צבאיות

1346 קשתים אנגלים מביסים אבירי שריון צרפתים בקרוב קרסי ובקרבות נוספים של מלחמת 100 השנה (פואטיה 1356, אזנקור 1415) סיימו עידן האבירות באירופה.

1326 פו-דה-פר (קנקן ברזל) תותח המתואר בכתב יד אנגלי. הובא לשימוש ע"י הצרפתים במלחמת 100 השנה. 1380 איזכור צרפתי למרגמה. 1387 בסין ארקבוס – רובה. שלש שורות רובאים: שורה קידמית יורה ונסוגה ושתי שורות מטעינות. מחצית שניה של מאה-15 שימוש בהונגריה, הוחלף במאה ה-18 ע"י המוסקט.

1420 צרפתים מגלים שייבוש אבק שריפה עם מים יוצר גרעינים שבהתלקחות יוצרים הדף גדול יותר

1420 הטורכים כובשים את ביזנטיון (קונסטנטינופול) תוך שימוש בהפצצות כבדות

1450 סוף מלחמת 100 השנים בכיבוש 70 מבצרים מהאנגלים ע"י שימוש בתותחים עם שימוש באבקת שריפה+מים המייצרים הדף רב יותר.

1500 למדו לייצר טעינה אחורית ונעילה לרובים, ויצירת התפוצצות לירייה (נפץ)

מתמטיקה

מתמטיקה – אלגברה, בעיות ופתרונות תוך שימוש בחוקי חילוך נעלמים
המקדמים הבינומיים, פתרונות משולשים בעזרת טריגונומטריה
אלגוריתמים (חישוב שרש), פתרון משוואות ריבועיות
שיטת כתיבת מספרים "ערבית" מהודו, נקודה עשרונית ושבר עשרוני, 1400 **גמשיד**
אל-קאשי (והאפס: כמות ומיקום
אברהם אבן עזרא כותב ספר ראשון באירופה המשתמש בספרות ערביות
קומבינטוריקה, 850 **אל-קינדי** מפענח כתבי סתר לפי תדירות שכיחות אותיות
אינדוקציה מתמטית – **אל-כרגי**
סדרות אינסופיות, חשבון דיפרנציאלי (שיפוע משיק) ואינטגרלי (מהודו)
פיבונצי
טורי טילור ויחסים אלגבריים לחישוב פונקציות טריגונומטריות
חשבוניה בשימוש נפוץ (הונהג ע"י האפיפיור סילבסטר ה-2)
עומר אל-חיאם ממין משוואות מדרגה 3 – יסוד לגיאומטריה אנליטית לא-אוקלידית

מספרים ערבים לפי Banna al-Marrakushi-

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
1	2	3	4	5	6	7	8	9

אלגברה

2000 לפה"ס בבבל: לוחות חרס עם כללים אלגבריים

250 לפה"ס דיאופנטוס באלכסנדריה משתמש בשיטות אלגבריות

680 ברהמגופטה Brahmagupta – האפס

820 אלקריזמי בבגדד כותב ספר אלגברה, **ibn Musa al-Kwarizmi**

חישוב השלמה ואיזון משוואות – Al-Kitab al-mukhtasar fi hisab al-gabr wa'l muqabala

1130 אלסמוואל Al-Samawal שימוש בכל כלי האריטמטיקה של מספרים על נעלמים

$P = \text{percent discount}$ $X = \text{price}$ $D = \text{discount}$ $D = p * X / 100$ or: $X = 100 * D / p$ or: $p = 100 * D / X$

המספר 5 סימון מופשט לכל חמשה חפצים (כלבים, תפוזים, מטבעות)

הסמל x סימן מופשט לכל מספר

ביטוי אלגברי – חוק לחישוב יחסים כמותיים, ומאפשר חילוץ נעלמים: $3x = y$ נותן $x = y/3$

משתנים, ביטויים ושיונות:

משתנים x, y יכולים לקבל כל ערך

בהתאמה גם ביטויים יכולים לקבל ערכים בהצבת המשתנים $x-5, y+3, x+2y$
שיוון בין שני ביטויים מאפשר לפתור את הערך של משתנים שיקיימו את השויון

$$x-5=1 \rightarrow x=6$$

$$x+5=y \quad y \text{ נפתור}$$

$$x=y-5 \quad x \text{ נפתור}$$

סדר הפעולות לפישוט אברים ופתרון (חילוץ משתנה תלוי):

$$9-3(+8 \quad 8+9-3)$$

$$8-9-3 \quad 8-(9-3)$$

$$8+2*9-3 \quad 8+2*(9-3)$$

$$9/3-2 \quad 9/(3-2)$$

$$3x+5x \Rightarrow 8x$$

$$7x=14 \rightarrow x=14/7$$

$$3x=x+x+x$$

$$x+2=5 \rightarrow x=5-2$$

איך להעביר משתנים מאגף לאגף:

נבצע פעולה זוהה על שני האגפים: חיבור, חיסור, כפל חילוק

$$3x=y \rightarrow F \cdot 3x = F \cdot y \quad (F \neq 0)$$

$$x/3=14 \rightarrow x=3 \cdot 14$$

$$5x/12=4$$

$$20-7x=6x-6$$

$$3(x-1)=2(x+3)$$

$$z/16 = 2(3x+1)/9$$

$$x-8=x/3+1/6$$

$$\frac{3}{4}x+2 = \frac{3}{8}x-4$$

$$3/x=5$$

$$3/(x+4)=4/(x+3)$$

$$8(3x+10)=28x-14-4x \Rightarrow \text{אין פתרון, או אינסוף פתרונות}$$

לאחר החילוץ – הצבת הפתרון במשוואה המקורית לבדיקה

רבי אברהם אבן עזרא c. 1140

גילה את הסימטריה במקדמים של $(a+b)^n$

Levi ben Gerson (better known as Gersonides), 1321

מצא למקדמים ביטוי מפורש – מה שייקרא משולש פסקל. הוא גם חישב בשנת 1342 טבלאות

סינוס בדיוק 5 ספרות, וכתב את חוק הסינוס למשולשים:

$$\sin(a)/a = \sin(b)/b = \sin(c)/c$$

1	$(a+b)^0$
1 1	$(a+b)^1$
1 2 1	$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$
1 3 3 1	$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$
1 4 6 4 1	$(a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$
1 5 10 10 5 1	$(a+b)^5 = a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4 + b^5$

במאה ה-10 **Abū al-Wafā' al-Būzjānī** שימוש נרחב בטריגונומטריה בכל שש הפונקציות, ויש טבלאות לערכיהן כל $\frac{1}{4}$ מעלה בדיוק 8 ספרות. הכירו את הנוסחאות:

$$\sin(2a) = 2\sin(a)\cos(a)$$

$$\sin(a \pm b) = \sqrt{\sin^2(a) - [\sin(a) * \sin(b)]^2} \pm \sqrt{\sin^2(b) - [\sin(a) * \sin(b)]^2}$$

$$\sin(a \pm b) = \sin(a) * \cos(b) \pm \sin(b) * \cos(a)$$

שתוארו במילים: "אם רוצים לחשב סינוס סכום או הפרש זוויות, מחברים או מחסרים את מכפילת סינוס הזווית האחת וקוסינוס השנייה".

הוא גם הכיר את חוק הסינוסים למשולשים כדוריים (ספריים):

$$\sin A / \sin a = \sin B / \sin b = \sin C / \sin c$$

בסוף המאה ה-10 ותחילת ה-11 **Ibn Yunus** האסטרונום המיצרי הוכיח כי:

$$\cos(a) * \cos(b) = \frac{1}{2} \{ \cos(a+b) + \cos(a-b) \}$$

תחומים נוספים שיושמו: טריאנגולציה למיפוי, ומשוואות ריבועיות

מדע הודי

תורה אטומית של החמר

יחסיות "sapekshavad".

פלדה, כורי היתוך ופלדת אל-חלד

גלגל טויה לצמר וכותנה

רקטות ברזל (פותחו בממלכת מייסור Mysore בדרום הודו)

אריאבהאטה – **Aryabhata 476-550** מודל הליוסנטרי לגראויטציה, כולל מסלולים אליפטיים הקף הארץ, רדיוס סיבוב כוכבי הלכת, אור הירח מוחזר מהשמש, פונקציות טריגונומטריות וטבלאות שלהן, ואלגברה. מערכת מספרים תלוית מקום, אך ללא אפס: נקודה במקומו.

ברהמגופטה **Brahmagupta** במאה ה-7 כוח המשיכה בין הכוכבים,

האפס כשומר מקום וכסיפורה

בהסקרה Bhāskara 12th century כתב **Siddhanta Shiromani** ספר אסטרונומי שחישב מיקום של כוכבי הלכת בשקיעה וזריחה, וסיבובם במישור אחד, ליקויי שמש וירח ועוד, תוך שימוש בטריגונומטריה.

מדהבה **Madhava of Sangamagrama**

נחשב ליוצר אנליזה מתמטית – חשבון דיפרנציאלי (שיפוע ומשיק) ואינטגרלי, מספרים עם חזקות, סדרות אינסופיות וטורי חזקות, פיתוח פונקציות לטורי טיילור, וקירובי טורי חזקות לפונקציות טריגונומטריות (טבלאות בדיוק עד 12 ספרות)

$$\sin x = x - x^3 / 3! + x^5 / 5! - x^7 / 7! + \dots$$

$$\cos x = 1 - x^2 / 2! + x^4 / 4! - x^6 / 6! + \dots$$

$$\text{Arctan } x = x - x^3 / 3 + x^5 / 5 - x^7 / 7 + \dots$$

המשיכו אותו תלמידיו במשך 400 שנים:

Kerala school of astronomy and mathematics 12th-16th century

האפס

מאפשר לתת ערך לפי מיקום במספר: 2, 20 ומבטל צורך באותיות מיוחדות לעשרות, מאות וכו' הובא מהודו לפרס, שם מיוחס לאל-חואריזמי ואל-בירוני

Brahmagupta 598-670

ברהמגופטה - הראשון שקבע כללי חישוב עם אפס:

בחיבור או חיסור אפס ממספר - הוא אינו משתנה

בהכפלת מספר באפס התוצאה אפס

וכללים למספרים חיוביים (זכות) ושלייליים (חוב):

חוב פחות אפס נותן חוב

זכות פחות אפס נותן זכות

אפס פחות אפס נותן אפס

החסרת חוב מאפס נותן זכות

החסרת זכות מאפס נותן חוב

הכפלת אפס בחוב או זכות נותן אפס

הכפלת אפס באפס נותן אפס

הכפלת או חילוק שתי זכויות נותן זכות

הכפלת או חילוק שתי חובות נותן זכות

הכפלת או חילוק חוב וזכות נותן חוב

אין פתרון לחלוקה באפס, ואפס חלקי אפס נותן אפס ...

Mahavira 800-870 מהבירה הוסיף לכללים אלה 200 שנים אח"כ

חלוקת מספר באפס משאיר את ערכו ...

Bhaskara II (Bhaskaracharya) 1114-1185 500 שנים אח"כ עדין בילבול בחלוקה באפס:

אבל קורא לחלוקה באפס "אינסוף" שאינו משתנה בתוספת או החסרת מספר

מבלבל אם $n/0=\infty$ לפי חוקי האלגברה $0*\infty$ יכול להיות כל מספר ???



האפס – המשך

Mohammed ibn-Musa Al'Khwarizmi 790-850

בפרס כתב חיבור על שיטת המספרים ההודית הכוללת אפס.

Rabbi Ben Ezra 1092-1167

אברהם בן מאיר אבן עזרא מטודלה וסרגוסה בספרד המורית הפיץ את שיטת המספרים ההודית (קרא לאפס "גלגל")

Al-Samawal 1130-1180

בפרס, דן באריטמטיקה עם הערך "אפס"

Zhu Shijie or Chu Shih-Chieh 1260-1320

בסין כותב חיבור הדן באפס, כנראה ממקור השפעה הודי
בזמן זה גם המאיה במרכז אמריקה יצרו שיטת מספרים תלויי
מיקום (על בסיס 20) ואפס



Leonardo of Pisa (Fibonacci) (c.1170-1250)

האפס יושם כ"סימן" בשיטת כתיבת מספרים תלויי מיקום –
"שיטת המספרים הערבים" בה אנו משתמשים היום – ע"י
המתמטיקאי פיבונצ'י באיטליה, אך עדין לא כערך מספרי.

Girolamo Cardan or Cardano 1501-1576

באיטליה פותר משוואות ריבועיות (קוודרטיות) ומסדר שלישי
(קוביות) מבלי להשתמש באפס, מה שמקשה על הפתרון.

Rene Descartes 1596-1650

דקארט השתמש ב- $(0,0)$ כראשית הקואורדינטות

אך ההבנה הנכונה של האפס הגיעה רק עם ניוטון ולייבניץ בפיתוח החשבון הדיפרנציאלי.

האפס דורש הרחבת תחום המספרים:

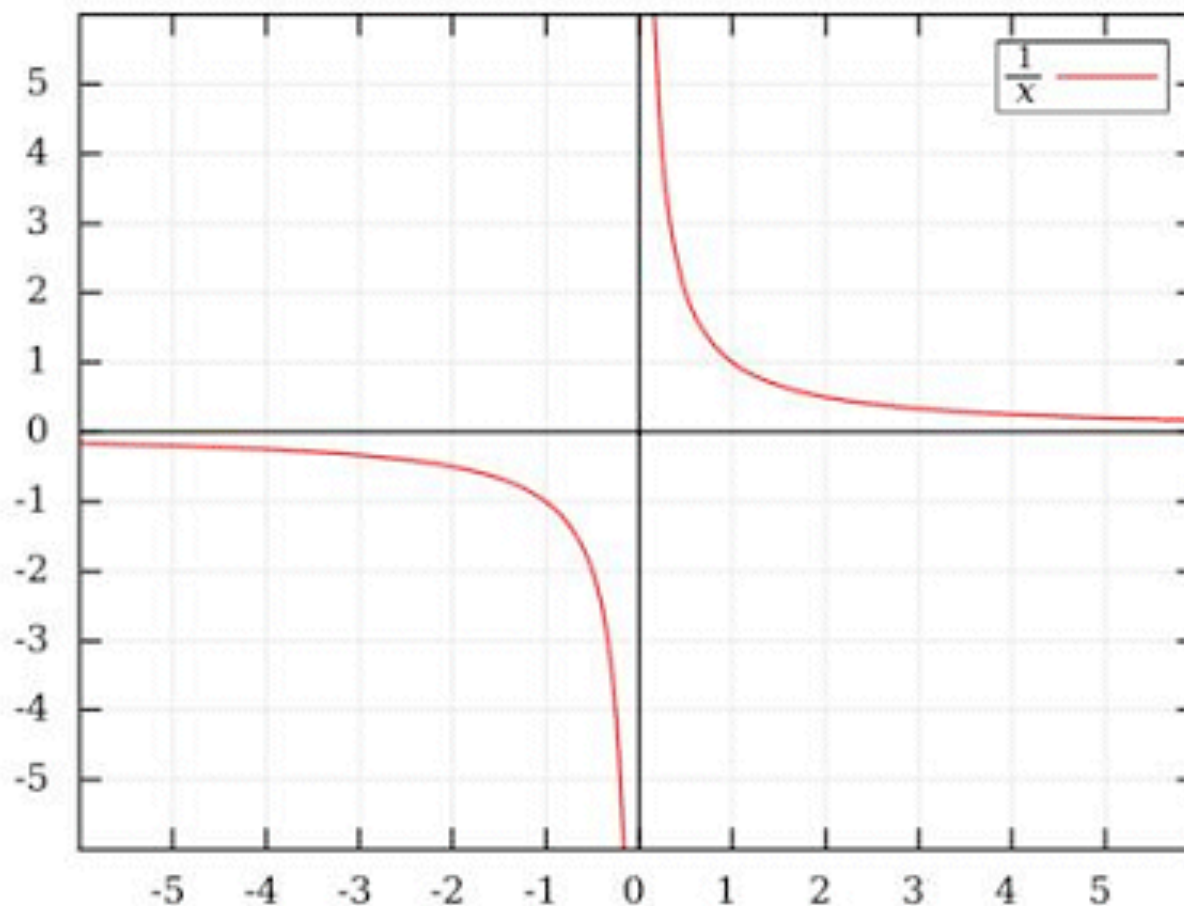
מספרים שליליים בחיסור –

$$0 - 5 = -5$$

מספר גדול אינסופי (∞) בחלוקה –

$$0/5 = \text{אינסוף}$$

**As x gets bigger and bigger, $\frac{1}{x}$ approaches zero.
Conversely, as x gets smaller and smaller and approaches zero, $\frac{1}{x}$ approaches infinity.**



Abū Rayḥān Muḥammad ibn Aḥmad Al-Bīrūnī 973-1048
פיתח שיטות לפענוח הצפנה ע"י חישוב תדירויות החזרה של סימנים בכתב



בולים מאפגניסטן רוסיה סוריה ואירן לציון 1000 שנים לאל-בירוני
(כולם מנכסים אותו. למה?)

סדרת פיבונצ'י

זוג ארנבונים מזדווג כשהם בני חדש ויולד כעבור חדש

חדש 0 - זוג ארנבונים

חדש 1 - זוג בהריון

חדש 2 - 2 זוגות אחד בהריון

חדש 3 - 3 זוגות 2 בהריון

חדש 4 - 5 זוגות 3 בהריון

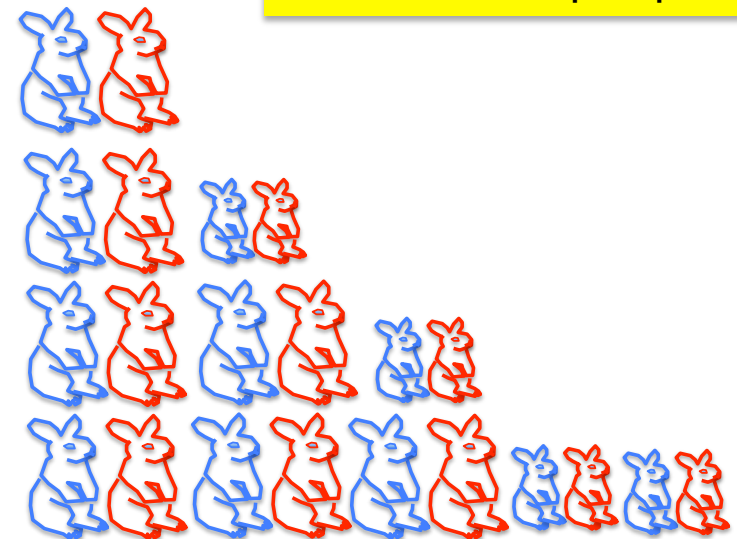
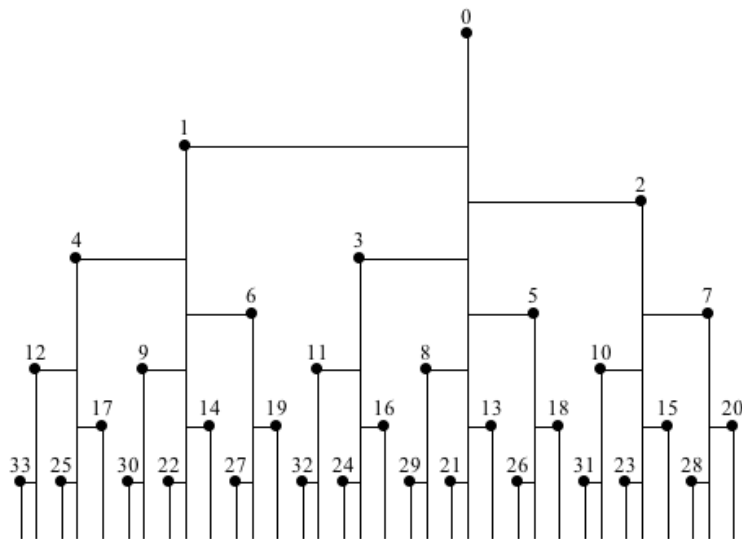
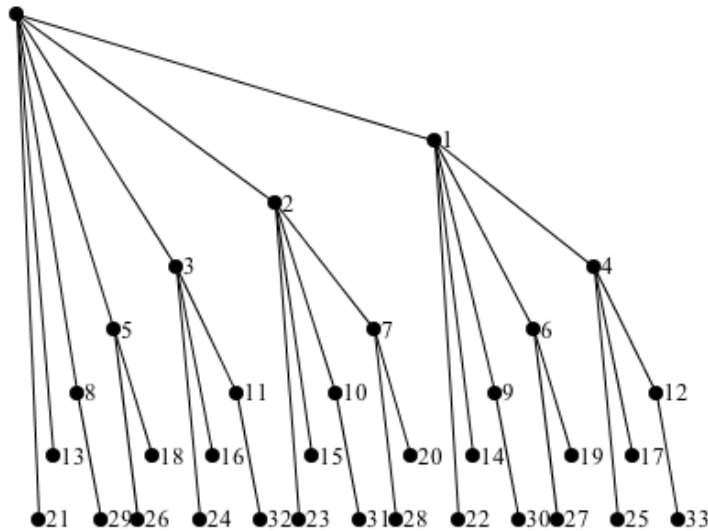
חדש n - A_n ארנבונים A_{n-1} בהריון

חדש $n+1$ - $A_n + A_{n-1}$ ארנבונים A_n בהריון

מתקבלת הסדרה

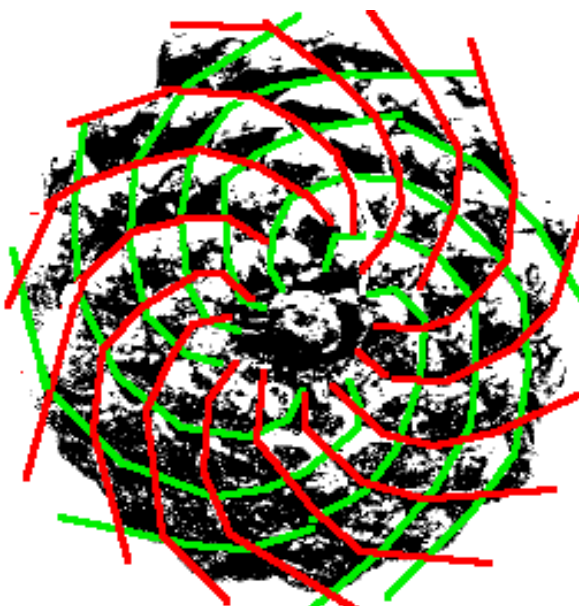
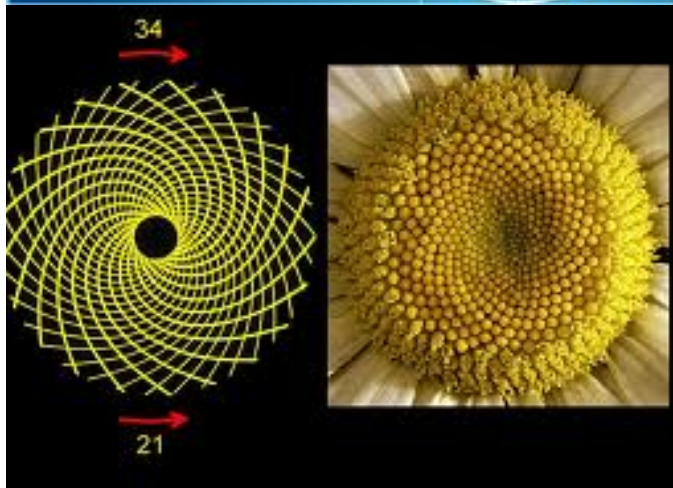
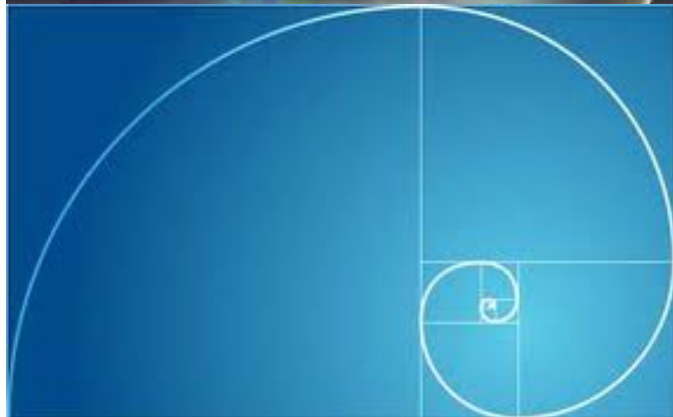
1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ...

דיון: רקורסיה במחשב



חיפוש פיבונצ'י (יעיל יותר מבינארי) בסדרה עולה בשיטת חיפוש אריה במדבר או
פצל וכבוש (divide & conquer)

דוגמאות רבות לסדרות פיבונאצ'י בטבע
(נובעות מחלוקת תאים בהתפתחות)
חמניה, חילזון, איצטרובל
מענין: היחס בין שני מספרי פיבונאצ'י עוקבים
שואף לחתף זהב

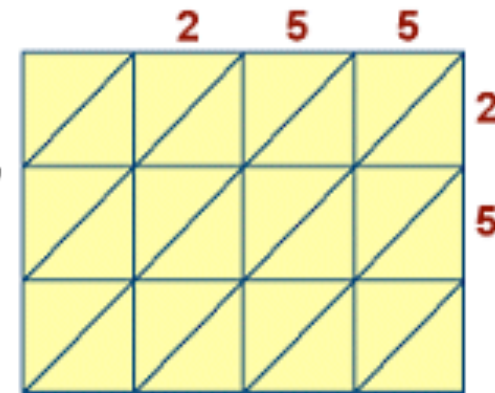


שיטת הכפלה של פיבונצ'י (לפי אלקריזמי Khwarizmi)

Lattice multiplication

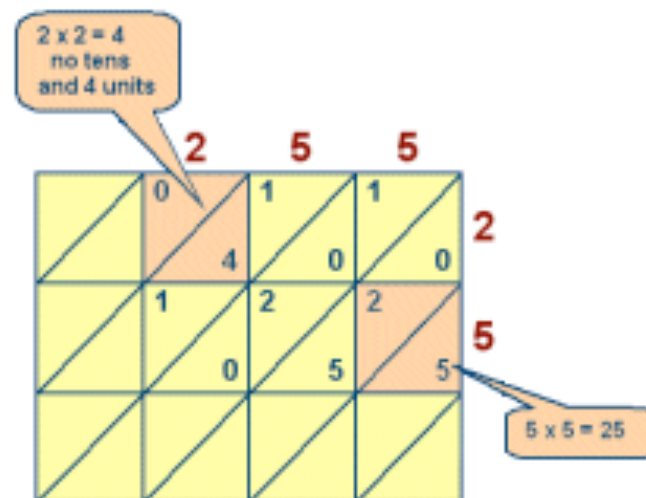
STEP 1

To multiply using the lattice method, create a grid with diagonal lines, and split the numbers to be multiplied into their place values, e.g. 255×25 (see right)



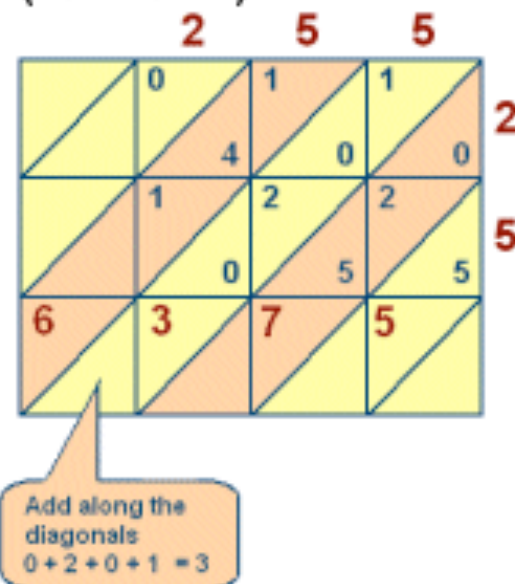
STEP 2

Multiply the columns by the rows, splitting the digits up on either side of the diagonal (see below)



STEP 3

Finally, add along the diagonals to get the answer: $255 \times 25 = 6,375$ (see below)



Albert of Saxony 1350

היה כנראה הראשון להבחין בין מרכז גיאומטרי ומרכז כובד: מרכז הארץ שונה ממרכז כובדו
חימום וייבוש יוצרים מדבר והרים
משחק לוגי עם קבוצות אינסופיות

פתרון משואה מדרגה 3

נוסחת טרטגליה (Tartaglia) לנפח טטראדרון

$$a = \sqrt{xYZ}$$

$$b = \sqrt{yZX}$$

$$c = \sqrt{zXY}$$

$$d = \sqrt{xyz}$$

$$X = (w - U + v)(U + v + w)$$

$$x = (U - v + w)(v - w + U)$$

$$Y = (u - V + w)(V + w + u)$$

$$y = (V - w + u)(w - u + V)$$

$$Z = (v - W + u)(W + u + v)$$

$$z = (W - u + v)(u - v + W).$$

$$V^2 = \frac{1}{288} \det \begin{bmatrix} 0 & d_{12}^2 & d_{13}^2 & d_{14}^2 & 1 \\ d_{21}^2 & 0 & d_{23}^2 & d_{24}^2 & 1 \\ d_{31}^2 & d_{32}^2 & 0 & d_{34}^2 & 1 \\ d_{41}^2 & d_{42}^2 & d_{43}^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

המרחק בין הקדקדים $UVWuvw=d_{ij}$

זו הרחבה של

משוואת שטח

משולש של

הרון

$$T = \frac{1}{4} \sqrt{- \begin{vmatrix} 0 & a^2 & b^2 & 1 \\ a^2 & 0 & c^2 & 1 \\ b^2 & c^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}}$$

$$\text{volume} = \frac{\sqrt{(-a + b + c + d)(a - b + c + d)(a + b - c + d)(a + b + c - d)}}{192uvw}$$

$$T = \frac{1}{4} \sqrt{(a + (b + c))(c - (a - b))(c + (a - b))(a + (b - c))}.$$

ניקולו פונטנה טרטגליה (המגמגם) 1500–1557 **Niccolò Fontana Tartaglia** – מתמטיקאי, מהנדס ביצורים לעיר ונציה ומודד מפות. תרגם לאיטלקית את ספרי ארכימדס ואוקלידס, וחקר מסלולי פגזים, גליליאו אימת מימצאיו). נפצע בפניו בכיבוש ברגיה ע"י הצרפתים במלחמות הליגה הקדושה (האפיפיורות) והתקשה בדיבור.

$$ax^3 + bx^2 + cx + d = 0 \quad (1)$$

$$\Delta = 18abcd - 4b^3d + b^2c^2 - 4ac^3 - 27a^2d^2.$$

$\Delta > 0$: שלשה פתרונות ממשיים שונים

$\Delta = 0$: פתרונות ממשיים כפולים

$\Delta < 0$: פתרון אחד ממשי ושני מדומים

$$x_1 = -\frac{b}{3a} - \frac{1}{3a} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[2b^3 - 9abc + 27a^2d + \sqrt{(2b^3 - 9abc + 27a^2d)^2 - 4(b^2 - 3ac)^3} \right]} - \frac{1}{3a} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[2b^3 - 9abc + 27a^2d - \sqrt{(2b^3 - 9abc + 27a^2d)^2 - 4(b^2 - 3ac)^3} \right]}$$

$$x_2 = -\frac{b}{3a} + \frac{1+i\sqrt{3}}{6a} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[2b^3 - 9abc + 27a^2d + \sqrt{(2b^3 - 9abc + 27a^2d)^2 - 4(b^2 - 3ac)^3} \right]} + \frac{1-i\sqrt{3}}{6a} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[2b^3 - 9abc + 27a^2d - \sqrt{(2b^3 - 9abc + 27a^2d)^2 - 4(b^2 - 3ac)^3} \right]}$$

$$x_3 = -\frac{b}{3a} + \frac{1-i\sqrt{3}}{6a} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[2b^3 - 9abc + 27a^2d + \sqrt{(2b^3 - 9abc + 27a^2d)^2 - 4(b^2 - 3ac)^3} \right]} + \frac{1+i\sqrt{3}}{6a} \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[2b^3 - 9abc + 27a^2d - \sqrt{(2b^3 - 9abc + 27a^2d)^2 - 4(b^2 - 3ac)^3} \right]}$$

Tartaglia-Cardano method

The solutions can be found with the following method due to Scipione del Ferro and Tartaglia, published by Gerolamo Cardano in 1545. This method applies to the depressed cubic substituting $x=t-b/3a$ in the general equation $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$ (1)

Get: $t^3 + pt + q = 0$. (2) with $p = \frac{3ac - b^2}{3a^2}$

We introduce two variables u and v linked by the condition

$$u + v = t$$

and substitute this in the depressed cubic (2), giving

$$u^3 + v^3 + (3uv + p)(u + v) + q = 0 \quad (3)$$

At this point Cardano imposed a second condition for the variables u and v :

$$3uv + p = 0$$

As the first parenthesis vanishes in (3), we get

$$u^3 + v^3 = -q \quad u^3 v^3 = -p^3/27$$

Thus u^3 and v^3 are the two roots of the equation

$$z^2 + qz - \frac{p^3}{27} = 0.$$

At this point, Cardano, who did not know complex numbers, supposed that the roots of this equation were real, that is that

$$\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27} > 0.$$

Solving this equation and using the fact that u and v may be exchanged, we find

$$u^3 = -\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}} \quad v^3 = -\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}$$

As these expressions are real, their cube roots are well defined and, like Cardano, we get

$$t_1 = u + v = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}$$

The two complex roots are obtained by considering the complex cubic roots; the fact uv is real implies that they are obtained by multiplying one of the above cubic roots by $\frac{-1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}$ and the other by $\frac{-1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}$

If $\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}$ is not necessarily positive, we have to choose a cube root of u^3 . As there is no direct way to choose the corresponding cube root of v^3 , one has to use the relation $v = -\frac{p}{3u}$ which gives

$$u = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} \quad (4)$$

and

$$t = u - \frac{p}{3u}.$$

Note that the sign of the square root does not affect the resulting t , because changing it amounts to exchanging u and v . We have chosen the minus sign to have $u \neq 0$ when $p=0$ and $q \neq 0$ in order to avoid a division by zero. With this choice, the above expression for t always works, except when $p=q=0$, where the second term becomes $0/0$. In this case there is a triple root $t=0$.

Note also that in several cases the solutions are expressed with fewer square or cube roots

If $p=q=0$ then we have the triple real root $t=0$

If $p=0$ and $q \neq 0$ then $u = -\sqrt[3]{q}$ and $v = 0$

and the three roots are the three cube roots of $-q$.

If $p \neq 0$ and $q=0$ then $u = \sqrt{\frac{p}{3}}$ and $v = -\sqrt{\frac{p}{3}}$,

in which case the three roots are

where $t = u + v = 0$, $t = \omega_1 u - \frac{p}{3\omega_1 u} = \sqrt{-p}$, $t = \frac{u}{\omega_1} - \frac{\omega_1 p}{3u} = -\sqrt{-p}$,

$$\omega_1 = e^{i\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i.$$

Finally if, $4p^3 + 27q^2 = 0$ and $p \neq 0$ there is a double root and a simple root which may be expressed rationally in term of p and q , but this expression may not be immediately deduced from the general expression of the roots: $t_1 = t_2 = -\frac{3q}{2p}$ and $t_3 = \frac{3q}{p}$.

To pass from these roots of t in Equation (2) to the general formulas for roots of x in Equation (1), subtract $b/3a$ and replace p and q by their expressions in terms of a, b, c, d .

הצבת וייטה (Vieta)

$$x^3 + px + q = 0,$$
$$x = w - \frac{p}{3w}$$

נציב

$$w^3 + q - \frac{p^3}{27w^3} = 0.$$

נכפיל ב- w^3

$$w^6 + qw^3 - \frac{p^3}{27} = 0$$

קיבלנו משוואה מסדר שני ב- w^3

$$W^3 = -q \pm \sqrt{q^2 - 4p^3/27}$$

אם w_1, w_2, w_3 הם השרשים הקוביים של הפתרונות ל- w^3

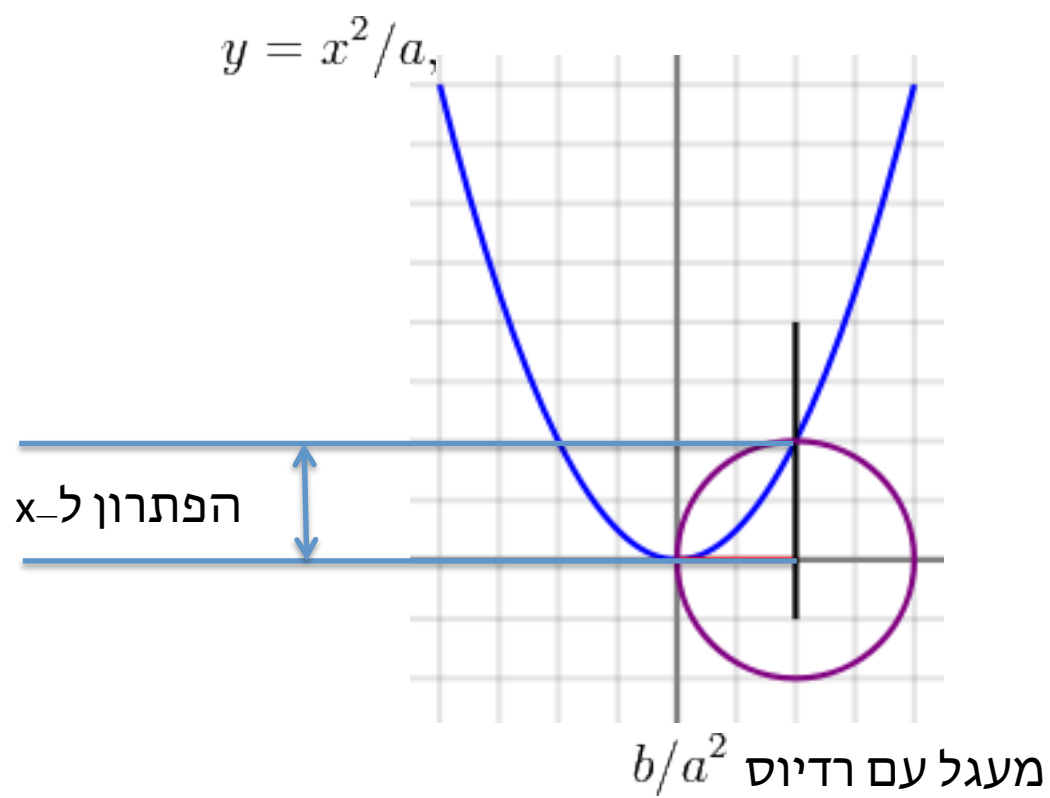
$$x_1 = w_1 - \frac{p}{3w_1}, \quad x_2 = w_2 - \frac{p}{3w_2} \quad \text{and} \quad x_3 = w_3 - \frac{p}{3w_3}.$$

$$\sqrt[3]{8^3} = \begin{cases} 8 \\ -4 + 4\sqrt{3}i \\ -4 - 4\sqrt{3}i. \end{cases}$$

$$\sqrt[3]{-27i} = \begin{cases} 3i \\ \frac{3\sqrt{3}}{2} - \frac{3}{2}i \\ -\frac{3\sqrt{3}}{2} - \frac{3}{2}i. \end{cases}$$

פתרון גראפי - עומר כייאם Omar Khayyám עבור $b > 0$

$$x^3 + a^2x = b$$



Let:

$$p_1 = 2c^3 - 9bcd + 27ad^2 + 27b^2e - 72ace$$

$$p_2 = p_1 + \sqrt{-4(c^2 - 3bd + 12ae)^3 + p_1^2}$$

$$p_3 = \frac{c^2 - 3bd + 12ae}{3a\sqrt[3]{\frac{p_2}{2}}} + \frac{\sqrt[3]{\frac{p_2}{2}}}{3a}$$

$$p_4 = \sqrt{\frac{b^2}{4a^2} - \frac{2c}{3a} + p_3}$$

$$p_5 = \frac{b^2}{2a^2} - \frac{4c}{3a} - p_3$$

$$p_6 = \frac{-\frac{b^3}{a^3} + \frac{4bc}{a^2} - \frac{8d}{a}}{4p_4}$$

Then:

$$x = -\frac{b}{4a} - \frac{p_4}{2} - \frac{\sqrt{p_5 - p_6}}{2}$$

$$\text{or } x = -\frac{b}{4a} - \frac{p_4}{2} + \frac{\sqrt{p_5 - p_6}}{2}$$

$$\text{or } x = -\frac{b}{4a} + \frac{p_4}{2} - \frac{\sqrt{p_5 + p_6}}{2}$$

$$\text{or } x = -\frac{b}{4a} + \frac{p_4}{2} + \frac{\sqrt{p_5 + p_6}}{2}$$

פתרון משוואות מדרגה 4

Ludovico Ferrari 1540

פורסם יחד עם פתרון דרגה 3 ע"י מורו

Gerolamo Cardano 1545

$$ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e = 0$$

פתרון משוואות מדרגה 4
 $\alpha x^4 + \beta x^3 + \gamma x^2 + \delta x + \varepsilon = 0$

$$x = y - \beta/4\alpha$$

$$y^4 + Ay^2 + By + C = 0$$

$$A = \frac{\gamma}{\alpha} - \frac{3\beta^2}{8\alpha^2},$$

$$B = \frac{\delta}{\alpha} - \frac{\beta\gamma}{2\alpha^2} + \frac{\beta}{8\alpha},$$

$$C = \frac{\varepsilon}{\alpha} - \frac{\beta\delta}{4\alpha^2} + \frac{\beta^2\gamma}{16\alpha^3} - \frac{3\beta^4}{256\alpha^4}.$$

Add and subtract
 $2sy^2 + s^2$

$$(y^2+s)^2 - [(2s-A)y^2 - By + s^2 - C] = 0$$

Then we factor the quadratic polynomial

$$(2s - A)y^2 - By + s^2 - C = (2s - A)(y - y_+)(y - y_-)$$

and make $y_+ = y_-$, which will impose a constraint on s (equation (4)). We will get:

$$\left(y^2 + s + \sqrt{2s - A}y - \frac{B}{2\sqrt{2s - A}} \right) \left(y^2 + s + \sqrt{2s - A}y + \frac{B}{2\sqrt{2s - A}} \right) = 0,$$

where s satisfies the *resolvent cubic equation*

$$8s^3 - 4As^2 - 8Cs + (4Ac - B^2) = 0.$$

The four solutions of (2) are the solutions of (3):

$$y_1 = -\frac{1}{2}\sqrt{2s - A} + \frac{1}{2}\sqrt{-2s - A + \frac{2B}{\sqrt{2s - A}}},$$

$$y_2 = -\frac{1}{2}\sqrt{2s - A} - \frac{1}{2}\sqrt{-2s - A + \frac{2B}{\sqrt{2s - A}}},$$

$$y_3 = -\frac{1}{2}\sqrt{2s - A} + \frac{1}{2}\sqrt{-2s - A - \frac{2B}{\sqrt{2s - A}}},$$

$$y_4 = -\frac{1}{2}\sqrt{2s - A} - \frac{1}{2}\sqrt{-2s - A - \frac{2B}{\sqrt{2s - A}}}.$$

Thus, the original equation (1) has the solutions

$$x_k = y_k - \frac{\beta}{4\alpha}. \quad k = 1, 2, 3, 4$$

לא ניתן לתת ביטוי אלגברי לפתרון משוואות מדרגה 5 ומעלה

Abel–Ruffini theorem

אבל 1824, Niels Henrik Abel

הוכיחו כי לפולינום כללי מדרגה גבוהה מ-4 אין פתרון אלגברי

אבריסטה גלואה 1830, Évariste Galois

מצא את הקבוצות של פוליגונים שיש להם פתרון אלגברי – התחלת תורת הקבוצות

ביולוגיה ורפואה

7000 BC Mehrgarh **הודו**

מקדח קשת לרפואת שיניים וניתוחי שיניים

2600 BC suture, Imhotep **מצריים**

קרמים פרמצויטים

500 BC Sushruta **הודו**

ניתוחים פלסטיים וקוסמטיים

400 BC Hippocrates **יוון**

ספסל טיפול ע"ש היפוקרטס

900 AD Ammar ibn Ali al-Mawsili **בגדד**

מחט הזרקה היפודרמית

1000 Abu al-Qasim (Abulcasis)

תחבושות, מלקחיים, פלסטר, סכיני חיתוך וגרידה, קרסים, מחטי ניתוח ותפירה ע"י גידים

1020 Ibn Sina, or Avicenna

טרמומטר, זיקוק מאדים, שמנים לרפואה

Al-Quanun, or Canon of Medicine

רפואה נלמדת בנסיון ומחשבה

משקפיים

הערבים טיפלו בעדשות להגדלה ובאופטיקה. כנראה מרקו פולו ראה משקפיים בסין. מדווחים ב-1306 בפיזה, ויוצרו ע"י אלסנדרו דה לה ספינה. במהרה הוקמה גילדה לייצרני משקפיים בונציה. ייוצרו משקפיים מעדשות קעורות וקמורות, אך רק קפלר ב-1604 נתן הסבר אופטי לתיקון הראיה.

ביולוגיה ורפואה – ביטול התורה של גלן על ארבעת ההומורים...
גאלן תורגם לערבית ע"י Hunayn ibn Ishaq בשנים 870–830

הקנון הרפואי של **אבן סינא**–**אביסנה** (1000 לספירה)
מקדחת שיניים, ניתוחים פלסטיים, משחות לריפוי, תחבושות ופלסטר
מזרק, סכין ניתוח, מלקחיים וכלי ניתוח שונים, כלי עזר ללידה
סוג מחלות, ניתוח מתמטי של השפעת תרופות
אנטומיה של גוף האדם – מערכת הדם והלב, שרירים, מטבוליזם בגוף, הקזת דם אסורה
לקטולים ומנעה ניתוחים). הרופא **מונדינו דה לוצי** 1316 מוציא ספר אנטומיה על סמך
ניתוחי מתים.

רוברט (או **מיכאל**) **סקוט הסקוטי** 1217 שימוש באלחוש על בסיס אופיום+מנדרגורה
+הרביין להרדמה בטיפול רפואי מכאיב. שימוש באוניברסיטת סלרנו באיטליה. **האחים הוגו**
ותאודוריקו בורגוניוני 1266 מוסיפים טיהור פצעים ביין להחיש החלמה.
1247 בית חולים בית לחם bedlam ראשון לחולי נפש בלונדון
גידה שוליאק 1363 ספר "הכירורגיה הגדולה" מציע למתוח גפיים שבורות לפני הקיבוע,
שניים תותבות וגשרי שיניים.

הרמב"ם, המגיפה השחורה, קשר למיקרואורגניזמים והמערכת החיסונית
חנות תרופות בבגדד, אנסטזיה לניתוחים באיטליה, "סטרליזציה" ביין ואלכוהול
ניסויים רפואיים בחיות, דווח רפואי לצבירת ידע איבחוני למחלות
מיון משפחות צמחים, צמחים סופגים אויר ומים
מאה-13 באיטליה: רופאים רושמים "קונסיליום" או תיאורי מיקרים של מחלות.
1440 **ניקולס איש קוזה** מוכיח שהצמחים מקבלים את מזונם מהאוויר.
בימי הביניים שלטה האמונה שמחלות נגרמות ע"י חטאים, אמונה שנתנה כוח לכנסיה

אל-נבאטי 1200 Abu al-Abbas al-Nabati

ביולוג אנדלוסי - מפתח שיטה מדעית נסיונית לבוטאניקה - בדיקה, תיאור ומיון של חמרים רפואיים, ומקבל רק דווחים המבוססים על בדיקות אמפיריות

אבן אל-בייטאר, Ibn al-Baitar, 1225

תלמידו של אל-נבאטי. מחבר אנציקלופדיה בוטאנית לחמרי רוקחות הכוללת 1400 צמחים, חמרי מאכל ותרופות, 300 מהם גילה לראשונה: Ktiab al-Jami fi al-Adwiya al-Mufrada
סיפר זה שימש בוטאניקאים באירופה במאות 18,19

אבן אל-נאפיס Ibn al-Nafis, 1242

בהערות על הקאנון מתאר מחזור דם ריאתי וכלילי pulmonary & coronary

גילברט האנגלי 1250, Gilbert the Englishman

איבוד תחושה בעור (מערכת עצבים הקפית) בשלב מוקדם של מחלות כגון צרעת - התבסס כשיטה איבחונית חשובה

בורגוגוני 1266, Hugh and Theodoric Borgogoni

הפיצו שימוש בסמי הרדמה ספוגים בבד. ניקוי פצעים פתוחים ביין.
בית חולים לחולי נפש בלונדון סוף המאה ה-13 Royal Bethlehem Hospital – Bedlam

ווסאליוס 1543 - Andreas Vesalius (1514-1564)

פירסום ספר רפואי De humani corporis fabrica המבטל תורות של גאלן, כגון מחזור הדם מונע בשאיבת הלב. מרכיב שלד שלם של אדם.

הרפואה הערבית והאסלמית:

בסיס–רפואה יוונית רומית **אנימיזם**–מתוך הרפואה העממית– יש משהו חי בתוך המחלה, יש שד שצריך לתמרן.

מתביב–מי שהושפע ע"י לחץ או קללה **תביב**–רופא.

אלכסנדר מטרלס

בלבל רפואה גלנית ופגנית **מניכאזם**–אמונה בכוחות מנוגדים.

הרון אל דשיד ובנו מאמון

הקימו את התרגומים. מאמון תמך **במוטזילה**– חוג של הוגי דעות דתיים.

בית אל חיכמה

מוסד אקדמי של מדעי הרוח (אוניברסיטה) הוקם בבגדד.

Hunyan Ibn Ishag

נוצרי, עסק בתרגום ואחר כך כתב ספרות מקורית רפואית על אופטלמולוגיה. **קומפנדיה**–סידור הידע לפי נושאים– הספר הרפואי הראשון נקרא "פרדס החכמה" שנכתב ע"י **Ali Ibn**

Rabbanal Tabari

יהודי מומר, השתמש גם במקורות הודים. ניהל בי"ח בבגדד וחיבר כ-200 ספרים, לא רק רפואה: אל כיתב אל מנסורי פיטיב **Rasis**.

Ali ibn a-abbas

כתב את ספר הרפואה השלם.

איבן סינא

משפטן שעסק ברפואה, כתב 250 ספרים, חיבר את גלנוס ואריסטו. השפיע הכי הרבה על המערב.

הרפואה האיסלמית תרמה בעיקר בפרמקולוגיה – יותר מ-3000 צמחים של איבן ביתר לעומת 850 של דיוקורידס.

תרומה גדולה בכירורגיה, שיטות חדשות לטיפול בפציעות בטן, תפרים ממעי חתול. העוסקים ברפואה – נוצרים, קצת יהודים ומעט מוסלמים. בית החולים הראשון – לפני התרגומים בדמשק ואח"כ בבגדד. בי"ח נקרא – **Maristan**.

Al-Kindi

שימוש במתמטיקה בפרמקולוגיה לדירוג חוזקן של תרופות
פיתח שיטה לקביעת הזמן הקריטי בהתפתחות מחלה לפי מופע הירח...

ראזי (Rhazes) (865-925)

פירסם al-Hawi היסטוריה של מיקרים שטיפל בהם (case history) שהתקבל ברפואה ככלי לימוד מרכזי. מבדיל בין אבעבועות שחורות וחצבת smallpox from measles מכיר באלרגיות (קדחת השחת), מפתח מישחות, מרית למריחה ובקבוקי תרופות. האמין בזרימה אינסופית של הזמן. תאר תגובת אישון עין לאור – רפלקס.

Abu al-Qasim (Abulcasis), (936 – 1013)

בספרד – אבי המנתחים המודרניים: חיבר את כתאב-אל-תסריף 30 כרכים של אנציקלופדיה רפואית שנלמדה בערב ואירופה עד המאה ה-17. כלי ניתוח ללידה, מחטים וגידים לתפירת חתכי ניתוח, מלחציים, אזמל, מגרד, מפשק, כפיות ווים ומוטות כירורגיים, משור לעצם, ופלסטרים.

Ibn al-Haytham (Alhazen) (1021)

מניתוחי עיניים הבין את המבנה האופטי של העין והפיזיולוגיה של ראייה מצלמת חריר, אור יוצא ממקור בקוים ישרים בכל הכוונים, מראות פרבוליות וכדוריות, אברציות אופטיות.

Ibn al-Nafis 1288

בהערות לקאנון מתאר את מחזור הדם הקטן מהחדר הימני של הלב דרך הריאות לחדר השמאלי (בניגוד לגאלן שתאר חיבור דרך וורידים). הארופאים הראשונים שתיארו נכון את מחזור הדם 300 שנה אח"כ:

Michael Servetus (d. 1553) Realdo Colombo (d. 1559),



Ammar ibn Ali al-Mawsili (מאה-9)

בעירק- מזרק להזרקה
754- בית מרקחת ראשון בבגדד: 2000 תרופות ידועות

Ibn al-Nafis (1024)

מחזור דם ריאתי וכלילי. תחילת מחקר מטבוליזם בגוף. אברי הגוף כעצמות, שרירים, עצבים, ושט, מעיים וכו'. שלל תיאוריות של גאלן כמו ארבעת ההומורים.

Ibn al-Lubudi (1210-1267) – 1242

תלות הגוף במחזור הדם. הלב - האיבר הראשון שמתפתח בעובר (לא המוח לפי היפוקרטס).
סרטן עצמות גולגולת.

Mansur ibn Ilyas (c. 1390)

חיבר תשריף אל-באדן (אנטומיה של הגוף) המכיל דיאגרמות מפורטות של מבנה הגוף.

al-Andalus, Ibn Khatima and Ibn al-Khatib (מאה-14)

במהלך המגיפה השחורה גילו שמחלות מדבקות נגרמות ע"י מיקרואורגניזמים הנכנסים לגוף.
המערכת החיסונית, בדיקה בחיות.



Abu Ali al Hussein ibn Abdallah ibn Sina – Avicenna (980-1037)

אבי הרפואה המודרנית, מחבר הקאנון הרפואי 1020. Ktiab al-Qanun fi al-tibb .
נסוי ומדידה עיקביים בפיזיולוגיה ורפואה. הדבקה של מחלות דרך מים ואדמה,
שימוש בהסגר למניעת התפשטות המחלה. נסיונות קליניים. אבחנה בין
מחלות עם פטולוגיות דומות (שחפת ודלקת ראות). שמוש בקרח להורדת חום.
רוקחות קלינית.

הקאנון הרפואי של אבן סינא



Miniature du Pr. Suheyl Unver éminent historien de la médecine turque représentant le Cheik Erraïs Ibn Sina El Bûkhâri.

התרגום ללטינית ע"י גרארד מקרמונה במאה ה-12
שימש כספר מרכזי ברפואה עד המאה ה-17

חלקי הקאנון: (קוד חוקים)

1. עקרונות כלליים לרפואה
2. מילון אלפבתי לתרופות
3. טרפיה. מראש לכף רגל (22 פרקים)
4. מחלות שאינן מוגבלות לאבר בודד בגוף (חום)
5. מרשמי תרופות

נכתב באיראן

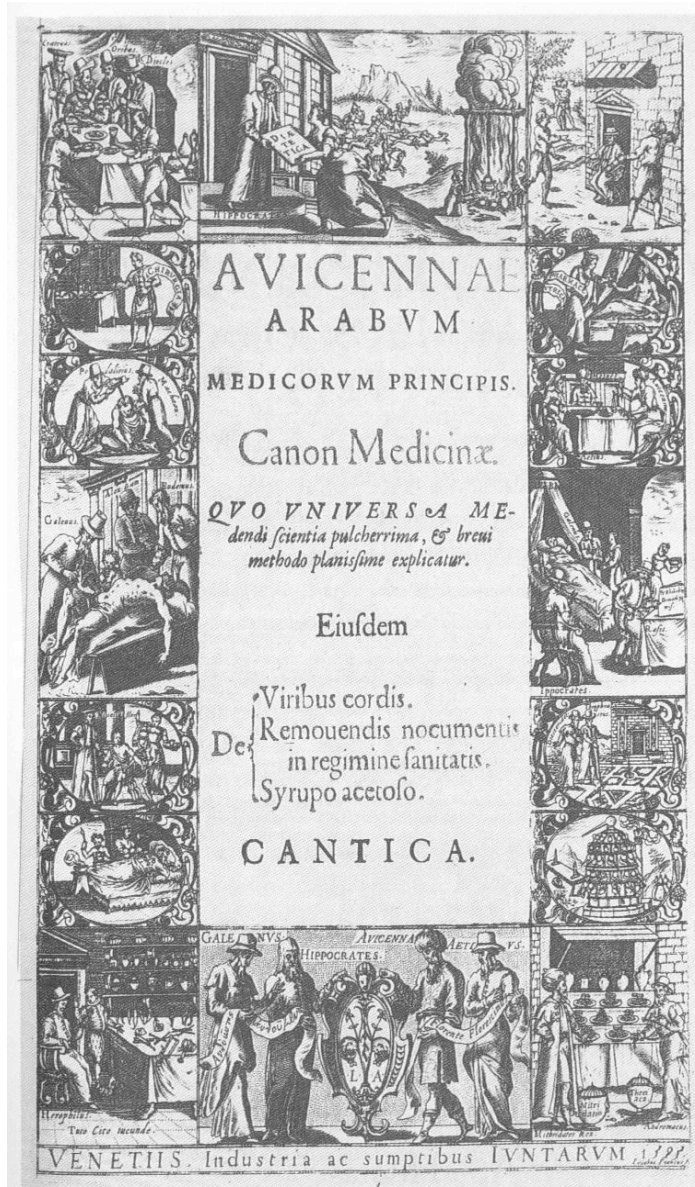
תרגומים ללטינית ע"י שליחים ונציאנים לדמשק

1150 — Avenzoar

משתמש בניתוחים וביופסיות להוכיח שמחלות עור
נובעות מפרזיט - נוגד את תיאורית ההומורים.
מחקר בחיות ניסוי לבדיקת פרוצדורות ניתוחיות לפני
שיושמו באנשים.

1200 — Abd-el-latif

חוקר שלדים בזמן רעב במצרים, ומוצא שגאלן טעה
בקשר להתפתחות עצמות הלסת התחתונה והגב



Frontispice de la version latine du Canon
de la Médecine, imprimée à Venise en 1544

1316, Mondino of Luzzi

מפרסם "אנטומיה" אחרי שייסם ניתוחי גופות להוראת רופאים

1348, Gentile da Foligno

משתמש במינוח של גאלן: זרעי המחלה, בדיון על מגיפות

1410, Benedetto Rinio

פירסום קטלוג מצוייר של צמחי מרפא עם שמותיהם בכמה שפות, הערות וציטוטים.

Emperor Gaozong (r. 649–683) –Tang Dynasty (618–907)

מממן הוצאת קומפילציה של חמרי רפואה מאבנים, מינרלים, צמחים, עשבים, חיות, ירקות ופרות, ותבואות

Su Song (1020–1101)

Bencao Tujing ('Illustrated Pharmacopoeia')

ספר זואולוגיה על חיות ושטחי המחיה שלהם (הביטאט)

Ouyang Xiu (1007–1072) Zhao Mingcheng (1081–1129) Hong Mai (1123–1202)

ארכיאולוגיה

רפואה בימי הביניים אחרי גאלן
גרגיליוס מרטיאליס 260 לספירה Gargillus Martialis

מחבר קטלוג לרפואות מפרות וירקות

מאה-4 מגנוס ניסביס Magnus Nisbis מאלכסנדריה

ספר על הכליה ושלפוחית השתן

אוריבסיוס Oribasius 325-400

אנציקלופדיה של 70 כרכים

יוליאן 362 Julian

בונה בית חולים בניהול הכנסיה בביזנטיון (xenones)

369 בזיל מקיסריה בקפדוניה Basil

בונה בית חולים הנקרא בזיליאס, כולל מבנים לחולים, אחיות ורופאים ובית ספר

אפרים הסורי Ephrem the Syrian 375 -

מייסד בית חולים ומוסד צדקה לעניים

פביולה Fabiola 400 -

מייסד בית חולים ברומא

420 - Caelius Aurelianus a doctor from Sicca Veneria (El-Kef, Tunisia)

קטלוג מחלות כרוניות ואקוטיות בלטינית

447 - Cassius Felix of Cirta (Constantine, Ksantina, Algeria),

אלמנך רפואי המבוסס על ספרי גאלן ביוונית

547- 480 Benedict of Nursia

מייסד הרפואה במנזרים, ששימשו בתי חולים ומרפאות

החל מסוף המאה ה-4 בתי חולים נעשו נפוצים כחלק ממבנה הממסד הדתי כפתרון רפואי וחברתי לעניים (לעשירים הגיע רופא הביתה...)

536 Sergius of Reshaina (died 536) A Christian theologian-physician

תרגם ספרי גאלן וכתב ספרי רפואה בעצמו

525-605 - Alexander of Tralles Alexander Trallianus

500-550 - Aetius of Amida

אנציקלופדיה רפואית. בנית בתי אירוח שהפכו בתי חולים (xenodocheions/bimārestāns)
ברוח גאלן ע"י הכנסיה הנסטורית באנטיוכיה תחת שלטון האססינים באירן.

550-630 Stephanus of Athens

560 – 636 Isidore of Seville

c. 630 - Paul of Aegina

אנציקלופדיה עם פרטים על ניתוח ששימשה את אלבוקאסיס

790-869 Leo Itrosophist also *Mathematician or Philosopher*

חיבר "Eptiome of Medicine"

c. 800–873 – Al-Kindi (Alkindus) *De Gradibus*

820 - Benedictine hospital founded,

בית הספר לרפואה בסלרמו התפתח מבי"ח זה

857d - Mesue the elder (Yūḥannā ibn Māsawayh) Syriac Christian

c. 830–870 – Hunayn ibn Ishaq (Johannitius)

נוצרי דובר סיריאקית (ניב ארמי) שתרגם ספרי רפואה

c. 838–870 – Ali ibn Sahl Rabban al-Tabari,

כותב אנציקלופדיה רפואית בערבית

c.910d - Ishaq ibn Hunayn

9th century Yahya ibn Sarafyun

Johannes Serapion, Serapion the Elder

רופא נוצרי סיריאקי

c. 865–925 – Rhazes

רופא ילדים, הראשון שמבחין בין אבעבועות וחצבת (בחיבור *Hawi* -)
d.955 - Isaac Judaeus Ishāq ibn Sulaymān al-Isrā'īlī
רופא יהודי יליד מצרים

913-982 - Shabbethai Donnolo

שבתאי דונולו מייסד ביה"ס לרפואה בסלרמו. כתב בעיברית
d. 982-994 'Ali ibn al-'Abbas al-Majusi Haly Abbas

1000 – Albucasis (936-1018)

מנתח וממציא מגוון מכשירי ניתוח. חיבר *Kitab al-Tasrif*

d.1075 - Ibn Butlan

רופא נוצרי בבגדד מחבר Tacuinum santiatis בערבית ותורגם ללטינית

1018-1087 Michael Psellos or Psellus

נזיר ביזנטיני שחיבר כמה סיפרי רפואה

c. 1030 – Avicenna

אבן סינא מחבר הקנון הרפואי – ספר לימוד אוניברסיטאי עיקרי בערב ואירופה עד המאה
ה-18

c.1071-1078 Simeon Seth or Symeon Seth

יהודי ביזנטיני שתרגם ליוונית ספרות בערבית

1084 בית חולים ראשון בקנטנבורי באנגליה

1087d - Constantine the African

1083-1153 Anna Komnene, Latinized as Comnena

1095 איחוד האנטונינים Congregation of the Antonines נוסד לטיפול בקרבנות מחלת עור
נפוצה "St. Anthony's fire"

late 11th early 12th century Trotula

1123 - St Bartholomew's Hospital

בי"ח בלונדון שנוסד ע"י ליצן החצר של המלך הנרי ה-1, ראהיר ואויש ע"י נזירות
אוגוסטיניות. טיפל בחולים כולל חולי נפש

1127 - Stephen of Antioch

תירגם כיתבי Haly Abbas

1100–1161 – Avenzoar

מורו של אברוס Averroes

1170 Rogerius Salernitanus

מחבר "כירורגיה" *Chirurgia* או *Surgery of Roger*

1126-1198 – Averroes

c.1161d - Matthaeus Platearius

1204 - Innocent III

האפיפיור שאירגן את ביה"ח סן ספיריטו Santo Spirtio ברומא ועורר השראה להקמת בתי
חולים בכל אירופה

c.1210-1277 - William of Saliceto also known as Guilielmus de Saliceto

1240 Bartholomeus Anglicus

1242 – Ibn an-Nafis

מציע שהחדרים ventricles הימני והשמאלי בלב נפרדים וקשורים למחזור הדם הריאתי
pulmonary והכלילי coronary

c. 1248 – Ibn al-Baitar

כתב על בוטאניקה ורוקחות, אנטומיה של חיות ורפואה ווטרינארית

1249 – Roger Bacon

מדווח על עדשות קמורות למשקפיים לתיקון רחק-ראיה

1316 - 1257 Pietro d'Abano also known as Petrus De Apono or Aponensis

1260 - Louis IX

הקים בית מחסה לעוורים 15–20 Les Quinze-vingt שהפך בי"ח למחלות עיניים עד היום

c. 1260 – 1316 Henri de Mondeville

1284 - Mansur hospital of Cairo

c. 1275 – c. 1328 Joannes Zacharias Actuarius

רופא שכתב את החיבור הרפואי האחרון בביזנטין

1275-1326 Mondino de Luzzi "Mundinus"

ביצע ניתוח שיטתי של גופות אדם לראשונה אחרי 1500 שנים שהרופיליוס מקלסדון

וארזיסטראטוס מקאוס ביצעו Herophilus of Chalcedon and Erasistratus of Ceos

1300 – concave lens spectacles to treat myopia developed in Italy.

1292-1350 - Ibn Qayyim al-Jawziya

1306-1390 John of Arderne

d.1368 Guy de Chauliac

f.1460 Heinrich von Pfolspeundt

1443-1502 Antonio Benivieni Pathological anatomy

1493-1541 Paracelsus On the relationship between medicine and surgery surgery book

Vienna Dioscurides, 512 CE דיוסקורידס

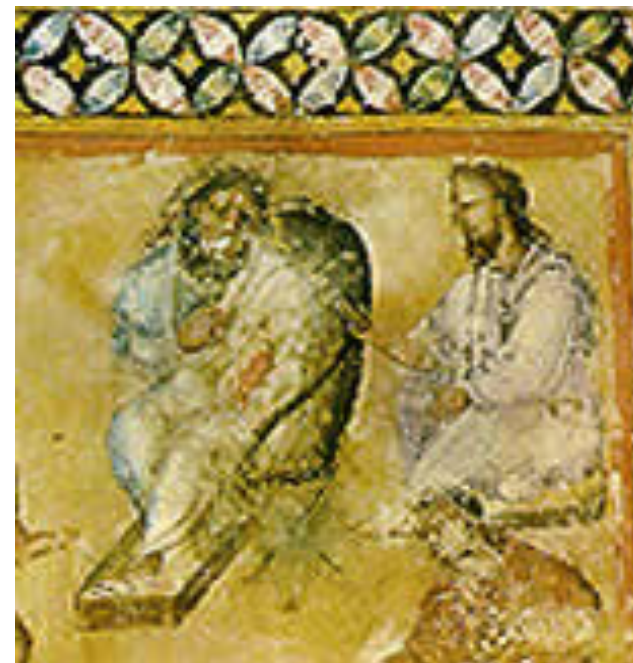
רופא ברומא שקיבץ את כל המידע על "חמרי רפואה" De Materia Medica, וכתב רפואות ליגיונות גם למד מנסיון וכנראה מעבודות של קרטאוס Crateuas, ומכיל 600 צמחים ושימושיהם הרפואיים.

העתק הספר שהוכן ליוליה אניסיה Anicia, ביתו של הקיסר אניסיוס אוליבריוס Emperor Anicius Olybrius – מתוכו הדף המתאר אוכמניות, עם הערות בכתב יד בערבית של בעלי ההעתק



Frontispiece of Vienna Dioscurides, 512 CE *Seven Physicians*

הכריכה המפוארת של הספר Vienna Dioscurides מראה את ערכו: מצויירים שבעה רוקחים מפורסמים, כולל גאלן היושב על כסא מתקפל. ההעתקים נעשו בלתי קריאים מרוב שימוש, ו"שופצו".



Manuscript from Byzantium, 15th century, in Greek Bologna, University, MS 3632, folio 51 Theophilus Protospatharius, On Urines

הספר הביזנטיני מאייר שיטות לטיפול בדרכי השתן. משמאל: תיאופילוס Theophilus היווני שכתב חיבור על אורולוגיה. עזרו מגיש לו מיכל שתן לבדיקה. ההעתק מהמאה ה-6



ציור של 1449, Fra Angelico

Museo di San Marco, Florence

הגמל מחייב קבורה זה לצד זה של שני הפטרוניים של
הרופאים, למרות שהיו ביניהם מחלוקות בחייהם.

סנט קוזמס וסנט דמיאן saints Cosmas and Damian



מכשירים רפואיים וציוד לניתוחים

מיכשור רפואי רב שוחזר מהתקופה הרומית, ומראה התפתחות והתפשטות הניתוח כמקצוע. גאלן (מאה ה-2) וסלזוס Galen and Celsus מדגישים בכתביהם הכשרה סדירה לרופאים מנתחים.

עם הזמן שיטות עיבוד ברונזה וכסף עזרו לייצר כלי ניתוח חדים יותר. מסיבות פולחניות לא נעשה שימוש בברזל לסכיני ניתוח. בפומפיי נמצא "בית הניתוח" עם כלים רבים. השפה גם מבחינה בין רופא *medicus* ומנתח *magister*.



בתבליט מהמאה ה-1 נראה מנתח עם סכין שולף חץ מחייל. סביר שהסכין נוצר גם לשימושים אחרים ולא במיוחד למנתחים.



בכתב מאויר ציור מימי הביניים נראה טיפול בשברי גולגולת ע"י זיהוי מקום השבר במישוש, וניקוי השבר הפתוח בנוצה. האסיסטנט מגיש בד לניקוי הפצע הפתוח או כתחבושת לקיבוע ובידו מיכל של משחה בשם *apostolicon chirurgicum*

שיטת סלזוס לסילוק אבן בכליה

מדווח בספר "כירורגיה" של ארדרנה מהמאה ה-14

John Arderne's "Chirurgia"

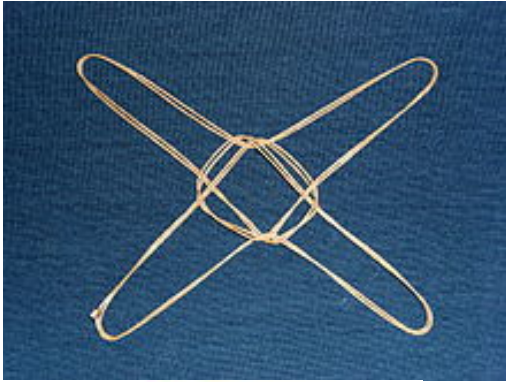
לאחר דיאטה של כמה ימים האבן יורדת לדרכי השתן. אחרת, בעזרת אצבע המוחדרת מפי הטבעת ניתן לחוש אותה בכליה. הוצאה בניתוח נעשה מאחור, כמו היום. האיור המראה החזקה ע"י שני אסיסטנטים מדגים את הכאבים בתהליך הניתוח.



טיפול בדיסלוקציה (נקע) בחוט השדרה:

היפוקרטוס במאה ה-5 לפה"ס מצוטט ע"י אפולוניוס במאה ה-1 לפה"ס מתאר תליה במהופך על סולם ומשיכה מהירה או הפלת הסולם.





אוריבסיוס 320 – 403 Oribasius

היה רופאו של הקיסר יוליאן האפוסטט ופירסם אוסף ספרי רפואה של קודמיו, כולל גאלן. באיור - מתקן קיבוע שבר בלסת.



גאלן 129-200

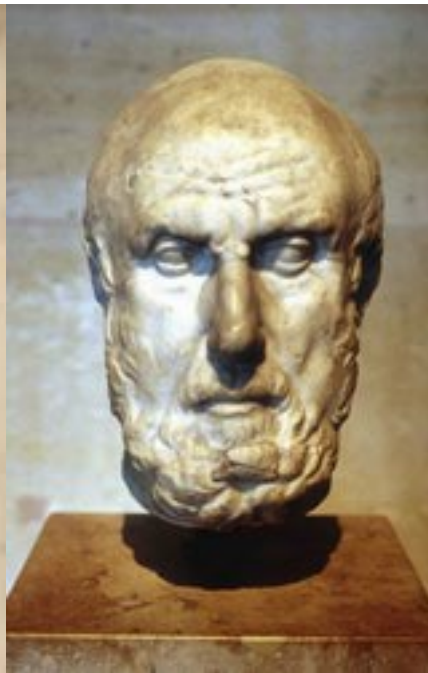
Claudius Galen

רופא מנתח ופילוסוף יווני (פרגמון) שחווה את המגיפה בזמן הקיסר אנטונינוס 69-168. הוא האמין בארבעת ההומורים של היפוקריטוס, ובהקזת דם, חקר אנטומיה דרך ניתוחי בעלי חיים (ניתוח גופות אדם היה אסור באימפריה הרומית) והסיק מסקנות שגויות על מחזור הדם. משנתו הוכרה בעולם הערבי ואח"כ היתה באירופה הבסיס המקובל ללימודי רפואה.



1360, Guy de Chauliac

ערך ניתוחי גופות לאחר היתר מהאפיפיור במטרה לעצור את המגיפה השחורה. מחבר "כירורגיה" Chirurgica Magna ממליץ לטפל בשברי גפיים בגלגלות ומשקלות. שיניים טוטבות להחלפת שן שאבדה - מעצם מקובעת בטיל זהב לשיניים הקרובות "אבי הכירורגיה המודרנית"



Hippocratic corpus אוסף היפוקרטוס

אוסף כתבים רפואיים יווניים של מחברים אלמונים הקשורים בבית סיפרו של היפוקרטוס 450-350 לפה"ס בקוס. האסף נצבר בקוס ובאלכסנדריה ותורגם לעברית, לטינית, ערבית וסירית, ונשמר מהתרגומים.

Soranus of Ephesus (מאה 1-2)

רופא יווני אח"כ ברומא, סיפריו "גניקולוגיה" ו"מחלות כרוניות ואקוטיות" נשמרו, ספר תרופות צוטט ע"י גאלן

Aetius of Amida (מאה 6)

רופא ביזנטיני שחיבר 16 כרכים על רפואה מבוססים על גאלן ואורבסיוס Galen and Oribasius

אוסף מיכשור רפואי מימי הביניים

Claude Moore Health Sciences Library, University of Virginia

אוסף דומה קיים במוזיאון הרפואה Welcome Trust, London

מרחיב הנרתיק לבדיקת הרחם

מוזכר לראשונה ע"י סוראנוס Soranus והיה בשימוש עד המאה ה-19. מכשיר מרשים מברונזה, עם פעולת בורג.



מרחיב לפי הטבעת

מוזכר ע"י היפוקרטס



"מנופים" להזזת עצמות גולגולת לאחר שבר או לעקירת שן



מלקחי עצם

סורנוס Soranus (מאה 1) מתאר שליפת שיברי עצם מהגולגולת
תיאור דומה ע"י איגניטה (מאה-7) . Paul of Aegina או Paul Aegina



כלים לאיסוף דם מהקזה



צינורות לניקוז חתכים מדם ומוגלה
ושימור פתחי נשימה מהדבקות לאחר ניתוח אף
גם שימשו להכנסת מישחות



צינורות לחוקן

Tile Cautery

שימוש נגד גירוי עור, לעצירת דם, הוצאת גידולים ועוד

קרסים

השימושים כמו היום בניתוחים: קרסים חדים לתפיסת והזזת רקמה, וקרסים כהים להרמת כלידם ועצבים

פינצטות ומלקחיים

לתפיסה עדינה, כולל להסרת שערות בשימושים אסתטיים

לתפיסת בלוטות, ריסוקן והוצאתן ללא דימום
(תיאור של היפוקרטס)



איזמלים



מספריים

המנתח אריבסיוס Oribasius מתייחס בסיפרו לתספורת כפרוצדורה רפואית. סלזוס Celsus מבצע תספורת כהליך בריפוי. היה קושי בייצור שפה חדה לגזירה, ואולי לכן יש מעט שימושים למספריים בניתוח

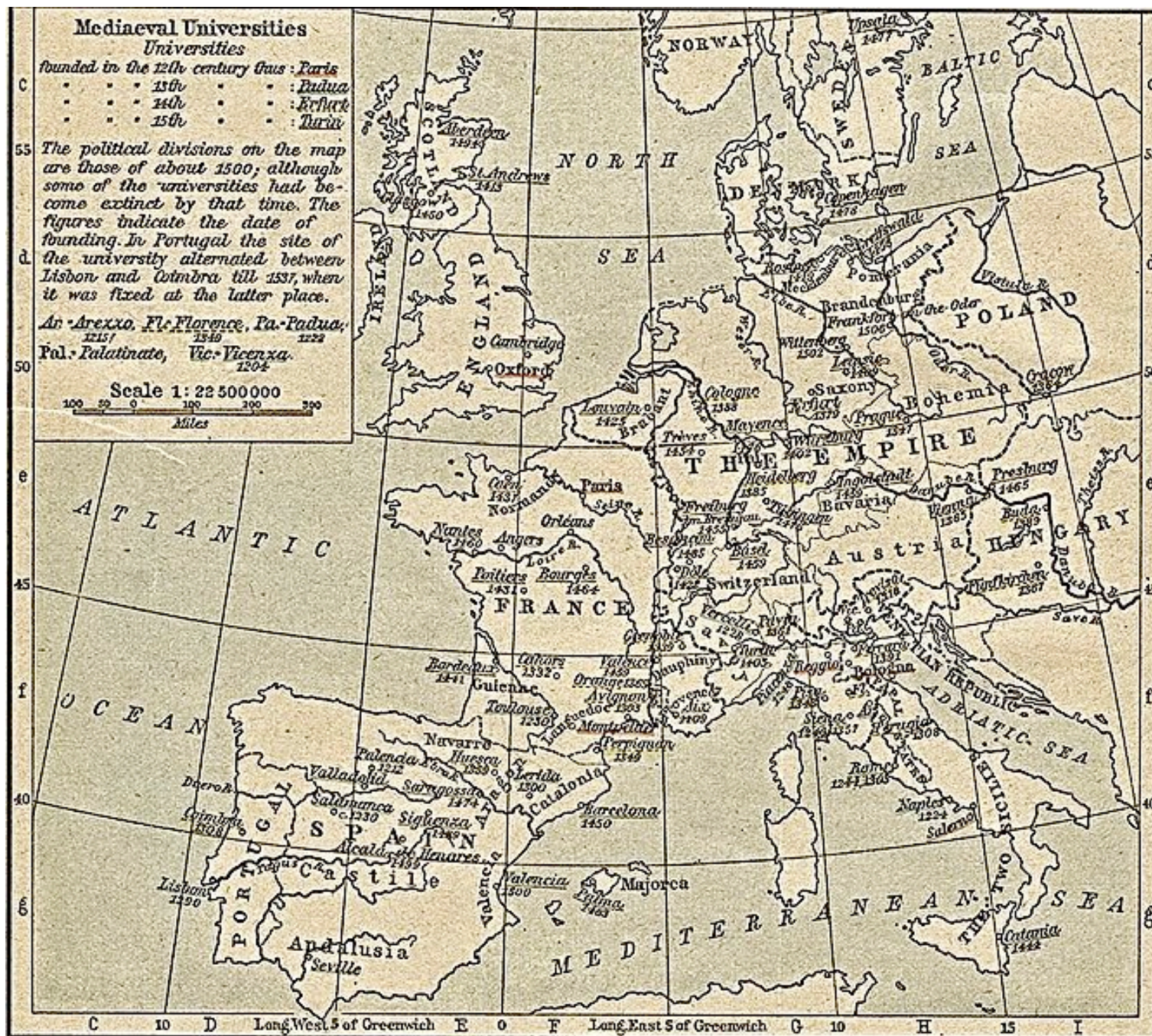


מריות (כפיות, ספטולה)
בעיקר בשימוש לעירבוב והכנת תרופות ומריחתן

כלי גרידה



ימי הביניים המאוחרים



מפת
האוניברסיטאות
באירופה
בימי הביניים
שתחילתן
במאה ה-12
במזרים

Charles the Great, Charlemagne 800 קרל הגדול

משתלט על רוב אירופה

הנזיר האנגלי אולקוין מיורק Alcuin of York

מפרט רפורמה בחינוך להחייאת הידע הקלאסי. שבעה שטחי מדע: טריטיום מדעי הרוח: דיקדוק, אמנות הנאום (רטוריקה) ודיאלקטיקה (לוגיקה-אמנות חקר האמת) וקוורטט מדעי הטבע: אריתמטיקה, גיאומטריה, אסטרונומיה ומוזיקה

840 גל חדש של פלישות ברבריות

במאות ה-12-13 רוב בתי הספר שהקים קרל הגדול הקשורים לכנסיה הופכים לאוניברסיטות 1000~ שעוני מגדל בערים, נמתחים (משקולות) ע"י מפעילים, ומראים זמן מקומי.

1010 אילמר ממלמסבורי Eilmer of Malmesbury שלמד מתמטיקה באנגליה עף בגלשן ממגדל

פעמון 200 מטר

946-1003 האפיפיור סילבסטר ה-2 Pope Sylvester II מפיץ את

שיטת כתיבת המספרים הערבים באירופה, את החשבוניה ואת

מודל הרקיע עם כדור הארץ במרכז armillary sphere

1100 פייר אברלד Pierre Abelard מתנגד לאפלטון

1100 רובה קשת נפוץ באירופה, הוצא מהחוק ע"י

המועצה האקומנית לטרנית השניה ב-1139: נסיון

ראשון באנושות לאמנת שימוש בנשק.

1020-1087 קונסטנטין האפריקאי יליד קרטגו

Constantine the African

מתרגם מערבית ללטינית ספרות שמקורה יוונית

1190 מצפן נכנס לשימוש ניווט ימי באיטליה



רוברט גרוססט בישוף לינקולן באוקספורד (Robert Grosseteste 1168–1253)
אופטיקה, אסטרונומיה וגיאומטריה. "השיטה המדעית" ניתוח לוגי של הקש
סיבתי ממדע נסיוני ואיך סיבה גורמת למסובב. בדומה לפירוק והרכבה בתורת
אריסטו, אך הוסיף תהליך אימות ושליה לוגית כתוצאה מנסיונות. גרוססט
האמין שאור הוא מקור כל ההסברים לטבע, נתן הסברים מתמטיים להחזרה
במראות, שבירה בעדשות, נפיצת ציבעי הקשת, ואפילו התפשטות אור כגלים.



אלברט הגדול (Albert the Great 1193–1280)

בעל תאר דוקטור אוניברסיטאית וחבר המסדר הדומיניקאני: דו קיום של דת ומדע.
מורו של תומאס אקווינס. כתב ספר גיאולוגי על מינרלים, מתכות ומאובנים
(בהמשך לאבן סינא). ב-1250 הפיק ארסנל נקי.

אמברלד מבאת (Adelard of Bath 1126) מתרגם מערבית ללטינית את אוקלידס
ואל-קריזמי: גיאומטריה אריתמטיקה ולוחות אסטרונומים



רוברט צ'סטר (Robert of Chester 1145)

מתרגם אלגברה של אל-קריזמי

ג'ררד מקרמונה (Gerard of Cremona 1175)

מתרגם את רוב כתבי אריסטו, תלמאי אלמגסט, אל-קינדי ואלחזאן אופטיקה,
הקאנון של אבן סינא וספרי רפואה של ראזי מערבית ללטינית.

בורגונדיו (Burgundio of Pisa 1185)

מתרגם מיוונית ללטינית ספרי גאלן ופתגמים של היפוקרטס

וויליאם ממרבקה (William of Moerbeke 1269)

מתרגם מיוונית ללטינית את ארכימדס

Hermann of Reichenau, Walcher of Malvern, John of Sacrobosco, ???

ליאונרד פיזאנו – פיבונאצ'י (Leonardo Pisano (Fibonacci) (1202)

הפיץ את שיטת המספרים הערביים באירופה ומספרים שליליים, ופתר בעיות אלגבריות. הטור הידוע בשמו שנוצר ע"י חיבור שני האברים הקודמים , 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34... הוא פתרון בעית התרבות השפנים.

ז'ורדנס (Jordanes de Nemore (1230)

חוק שוי משקל במנוף של ארכימדס

וינסנט מבאוה (Vincent of Beauvais (1230)

חיבר אנציקלופדיה של 6000 דפים **Speculum majus** שקיבץ מתרגומים ערביים ויווניים על פילוסופיה, מדע ומתמטיקה.



ימי הביניים המאוחרים

בתחילת המאה ה-13 היו תרגומים ללטינית של רוב החיבורים המשמעותיים של העולם הקלאסי והתוספות הערביות, כולל

Aristotle, Ptolemy, Geber, al-Khwarizmi, Alhazen, Avicenna, and Averroes.

תרגומם ולימודם באוניברסיטאות ובמנזרים החיה את החשיבה המדעית, ולא רק הפיץ את הידע הקיים בהם, אלא גם חקר וקידם את המדע. המדענים גם הושפעו מהמסורת המדעית הערבית, ששמה דגש על נסיונות המאששים מודלים מתמטיים.

Roger Bacon, Albertus Magnus, Michael Duns Scotus, Grosseteste

ניתקו ממשנת אריסטו התאפשר ע"י Condemnation of 1277 באוניברסיטת פריז. אמנם האיסורים לקרוא את משנת אריסטו נבעו בעיקר משיקולים תיאולוגיים, אך הם פתחו דיונים מחודשים בתורות מדעיות שלא אותגרו מעולם.

כתוצאה מכיבושי המונגולים מסין ועד מזרח אירופה, החל מצ'ינגיז חאן – Genghis Khan בתחילת המאה ה-13 ועד השלום המונגולי **Pax Mongolica** באמצע המאה ה-13, נבנתה מערכת תקשורת שהתפרשה בכל האמפריה המונגולית, (תחנות במרחק רכיבה במרחק של יום, Yam) הרחיבה את דרכי המסחר בדרך המשי, (למשל מרקו פולו) וחשפה את אירופה לתרבויות של הודו וסין. מאידך דרכי מסחר אלה הם שהביאו והפיצו את המגפה השחורה באירופה.

Alessandro della Spina 1285

משקפיים לרחקי ראייה, שימוש בעדשות לטלסקופים ומיקרוסקופים.

Roger Bacon 1214–94

מהמסדר הפרנציסקאני באוקספורד. חוקי הטבע: מכאניקה, גיאוגרפיה, אופטיקה (מהירות האור סופית, מתקדם בדומה לגלי קול. זוית קשת מכסימאלית בשקיעה: 42 מעלות)

ניסויים באבק שריפה: דימיין אפקטים שיחווה אם ייכלא בגוף מוצק...

1267 פירסם "אופוס מגוס" Opus Majus מהפיכה בחינוך מדעי-נסיונות ומדידות רק הם יכולים לאשש השערות מדעיות.

Albertus of Bollstadt (Magnus) 1250

באוניברסיטת פריז. מתבסס על אריסטו, בלי להאמין שהכל צפוי מראש.

ליקט קטלוג צמחים עם דגש על מיון לפי צורות (בעקבות אריסטו, תיאופרסטוס Theophrastus וסזלפינו Cesalpino)

Universities in Montpellier, Salerno, Padua, Bologna

מרכזי לימוד רפואה, ולימוד מניתוחי גופות.

Pélerin de Maricourt 1269

מתאר קטבים מגנטיים, וחוסר יכולת לבודד קוטב אחד.

Petrus Peregrinus of Picardy, Italy 1269

כדורי מגנטים טיבעיים lodestones מכוונים מחטי ברזל בין שני קטבי המגנט.

ויליאם מאוקהם, אנגליה 1285-1349 William of Ockham

תער אוקהם - עקרון הקמצנות הפרנציסקאני - חוק מדעי מינימליסטי (אופטימאלי) אם יש הסברים שקולים, צריך להעדיף את ההסבר הפשוט - להמנע מהנחות לא הכרחיות. למשל אין צורך במתווך כדי להעביר אור מגוף לעין, או תנועה אינה חפץ אלא תכונה של גוף. 1323 מבדיל בין גוף בתנועה וגוף מונע (דינאמיקה וקינמטיקה)



Thomas Bradwardine (Oxford) 1328

מבדיל בין קינטיקה ודינאמיקה – חוק גופים נופלים הרבה לפני גלילאו:
גוף הנע במהירות קבועה עובר מרחק זהה בזמן זהה לגוף בתאוצה קבועה (כגון נפילה), אם
מהירותו חצי מהמהירות המירבית של הגוף בתאוצה. משתמש באלגברה:

$$vt = \frac{1}{2} gt^2 = (\frac{1}{2} gt)t \quad v = \frac{1}{2} gt$$

כוח נקרא אצלו "פוטנציאל"



Nicole Oresme 1320–82

אוניברסיטת פריז, בישופ לזייה, מתנגד לאסטרוולוגיה, האדמה נעה לא השמים,
מסלול נפילה וזריקה חפשית. לא חוקר את סיבות התנועה והכוחות.
משפיע על גליליי וקופרניקוס.

גילה שבירת האור באטמוספירה. צבע האור ושבירתו – משפיע על הוק.

Thomas Aquinas 1227–74

מסדר דומיניקאני איטלקי. מחבר ספר אלכימיה: Aurora Consurgens
מושג האינרציה, התנגדות מסת הגוף לשינוי תנועה: משפיע על קפלר וניוטון.

מחבר Summa Theologica 1267–73

היפוטיזה אמיתית – מתמטית ותואמת לעובדות – פיזיקאלית

John Duns Scotus 1266–1308

מהמסדר הפרנציסקאני באוקספורד.

Theodoric (Dietrich) von Freiberg 1305

משתמש בגבישים הכסגונאלים, בכדורי קריסטל ובכלי זכוכית כדי ללמוד על
שבירה והחזרה פנימית ושוב שבירה ביציאה של אור מטיפות מים ביצירת
הקשת הראשונה והמישנית.



William of Saint-Cloud ~1250

משתמש בקמרה אובסקורה (קופסה חשוכה) להביט בליקוי שמש

Giles of Rome 1290

תורה אטומיסטית לחמר, בעקבות אבן סינא.

Giovanni di Dondi 1364

שעון עם תאריך

1370 שעוני פריז מתוזמנים (מסונכרונים).

Oxford Calculators: the mean speed theorem– Merton Rule 14 מאה–

דרך שעושה גוף בתאוצה קבועה היא כמו דרך במהירות הממוצעת $S=1/2 (v_0+v_f)$

Nicholas of Cusa 1401–1464 ניקולה מקוזה

תבונה סופית יכולה להגיע רק להבנה אסימפטוטית של האמת

אינפיניטסימאלי ואינסופי – קלקולוס

צמחים קולטים תזונה מהאוויר

הארץ סובבת את השמש, וכוכבי השבט הם שמשות רחוקות

1494 - Luca Pacioli

ביסוס שיטה לניהול כפול של ספרי הוצאות והכנסות

מאה 13 בבוטאניקה ורפואה

רופאים באיטליה כותבים consilium – סיכום תסמינים (סימפטומים) והתנהלות מיקרי מחלות רבות. עידוד ניתוחים ולימוד אנטומיה באוניברסיטאות מלבד בצרפת ואנגליה בגלל איסור הכנסיה לשפיכות דמים...

מדוע באיטליה, מדינת הוואטיקן, דוקא היה חופש ללימודי אנטומיה?

כנראה בגלל חזק שליטתן ותמיכתן משפחות עשירות (מדיצ'י) באמנות ומדע.

Michael Scot 1217

אוניברסיטת סלרנו – רצפט לסם הרדמה: אופיום+דודאים (מנדרגורה) + צמח הנבן henbane

Hugh and Theodoric Borgogni 1266

מנותחים מורדמים ע"י נשימה דרך בד ספוג בסם הרדמה ממליצים לנקות פצעים ביין, לאחות שפת הפצע בתפרים, ולתת לגוף להתרפא.

Gilbert the Englishman 1250

מתאר אובדן תחושה בעור בשלבי צרעת מוקדמים – מערכת עצבים הקפית. הפך לכלי איבחון מוקדם החשוב לטיפול יעיל בצרעת ובמחלות מדבקות אחרות.

End of 13th century

בית חולים לחולי נפש בלונדון Royal Bethlehem Hospital (Bedlam)

Mondino of Luzzi 1316

מפרסם "אנטומיה". מנהיג ניתוחים ציבוריים להוראה.

Guy de Chauliac (1360

מותח שברי גפיים עם גלגלות ומשקלות

מציע להחליף שיניים שאבדו בעצם המחזקת בגשר של חוט זהב לשיניים השכנות.

Benedetto Rinio 1410

450 ציורי צמחים עם הערות בוטאניות.

חצי השני של המאה ה-13

אבק שריפה מגיע מסין דרך המונגולים: התכונות הנפוצות של תערובת גפרית, פחם וזפת.

סיכום

למרות היישומים הטכניים המרשימים, מחקר מדעי היה חלש ברומא, בהשוואה ליוון, והשאיר את אירופה בימי הביניים עם קומפילציות פשטניות של המדע הקלאסי, וקבלת הסברים לוגיים לטבע (לפי הבנתם ודתם), שנוצר ע"י האלהים כשלמות.

לעומת זאת בעולם הערבי המורשת הקלאסית הוטמעה בפעילות מחקר ופיתוחים מדעיים נרחבים במתמטיקה (עם השפעה הודית וסינית) באסטרונומיה (עם השלכות לספנות) ובכימיה (שימושים להיתוך מתכות, וזיקוק תרופות).

רק מהמאה ה-12 עלתה באירופה ההתענינות במחקר ומדידות בטבע, ובשיטות מדעיות. התהליך נקטע ע"י המגיפה השחורה, 1348, שחיסלה שליש מאוכלוסית אירופה, בעיקר בערים שהם מרכזי ידע וקידמה. ההתנהלות במגיפה כמכה אלהית על חטאים גם טבעה את אופיים הקודר של ימי הביניים, ומנעה טיפול יעיל בעצירתה.

אך הקידמה המדעית השתקמה מהר עם גידול במספר האוניברסיטאות ברחבי אירופה, והתחזקה עם נהירת אנשי מדע מביזנטיון אחרי נפילתה לטורכים ב-1453. ביזנטיון שמרה בימי הביניים על מורשת התרבות היוונית, וקירבתה למרכז הידע באלכסנדריה אך גם למזרח ולעולם הערבי הנאור בבגדד, העשירה את עולמם של חכמיה בידע ובספרים, הן קלאסיים שנשתמרו בחלקם ביוונית, והן הודים וערבים מתורגמים ומקוריים. ההעתקים שהגיעו למרכז אירופה תורגמו ללטינית, הופצו עם יבוא הדפוס מסין ב-1450, גרמו לדמוקרטיזציה של הלימוד, הקלו על שיתוף וצבירת ידע חדש, וביססו מדע כמותי ביישום האלגברה שהובאה מהערבים.

הספרים התגלו מחדש בזמן הרנסאנס והמהפכה המדעית, וניוטון ביסס במאה ה-17 את תגליותיו על עבודות של מדענים בסוף ימי הביניים (בעיקר אלחזאן שלא הובן עד לניוטון). יש לכן לראות את המדע בימי הביניים כתשתית הכרחית לפריחתו בתקופת הרנסאנס.

נספח: רשימת המדענים בימי הביניים

אדום: הודו
כחול: אירופה

Lalla

Alcuin

Al-Khwarizmi

Al-Jawhari

Banu-Musa Muhammad & ??? (brothers)

Mahavira

Govindasvami

Al-Kindi

Banu-Musa Al-Hasan

Al-Mahani construct Astrolab

Prthudakasvami

Ahmed 835-

Thabit Ibn Quarra 836-

Sankara

Abu-Kamil 850-

Al-Battani 850-

Sridhara

Al-Nayrizi

Ibrahim Ibn Sinan 908- treaties on Astrolab

Al-Khazin 900- treaties on Astrolab

Ibrahim

Al-Uqlidsi 920-

Aryabhata_II

Al-Quhi 940- treaties on Astrolab

Al-Khujandi

Vijayanandi

Abu'l-Wafa 940-

Al-Sijzi

Yunus

Al Uqlidisi decimals from India

Al-Karaji 953-

Al-Haytham 965-

Abu Nasr Mansur 965- treaties on Astrolab

Al-Biruni 973- treaties on Astrolab, projection of earth for maps

Al-Baghdadi 980-

Avicenna

Al-Jayyani

Al-Nasawi

Hermann of R***

Sripati

Shen

Omar Khayyam 1048-

Brahmadeva

Abraham

Adelard

Ezra

Jabir ibn Aflah

Gherard

Al-Samawal 1130-

Al-Tusi Al-din Sharaf 1135-

Grrosseteste

Fibonacci

Sacrobosco

Albertus Magnus

Al-din Al-Tusi Nasir 1201-

Ch'in

Bacon

Al-Maghribi

Campanus

Jordanus

Llull

Tibbon

Yang

Al-Samarqandi

Al-Banna

Al-Farisi 1260-

Chu

Ockhan

Levi

Bradwardine

Albert

Al-Khalili

Oresme Nicole 1320–1382

Narayana

Mahendra Suri

Madhava

Qadi Sada

Paramesvara

Al-Kashi 1380- - Trigonometric tables

Ulugh Beg 1393- Trigonometric tables

Al-Umawi

Cusa

Alberti

Francesca

Al-Qalasadi

Peurbach George 1423-1461 “New theory of the planets” 1472

Borgi

Regiomontanus

Nilakantha

Chuquet

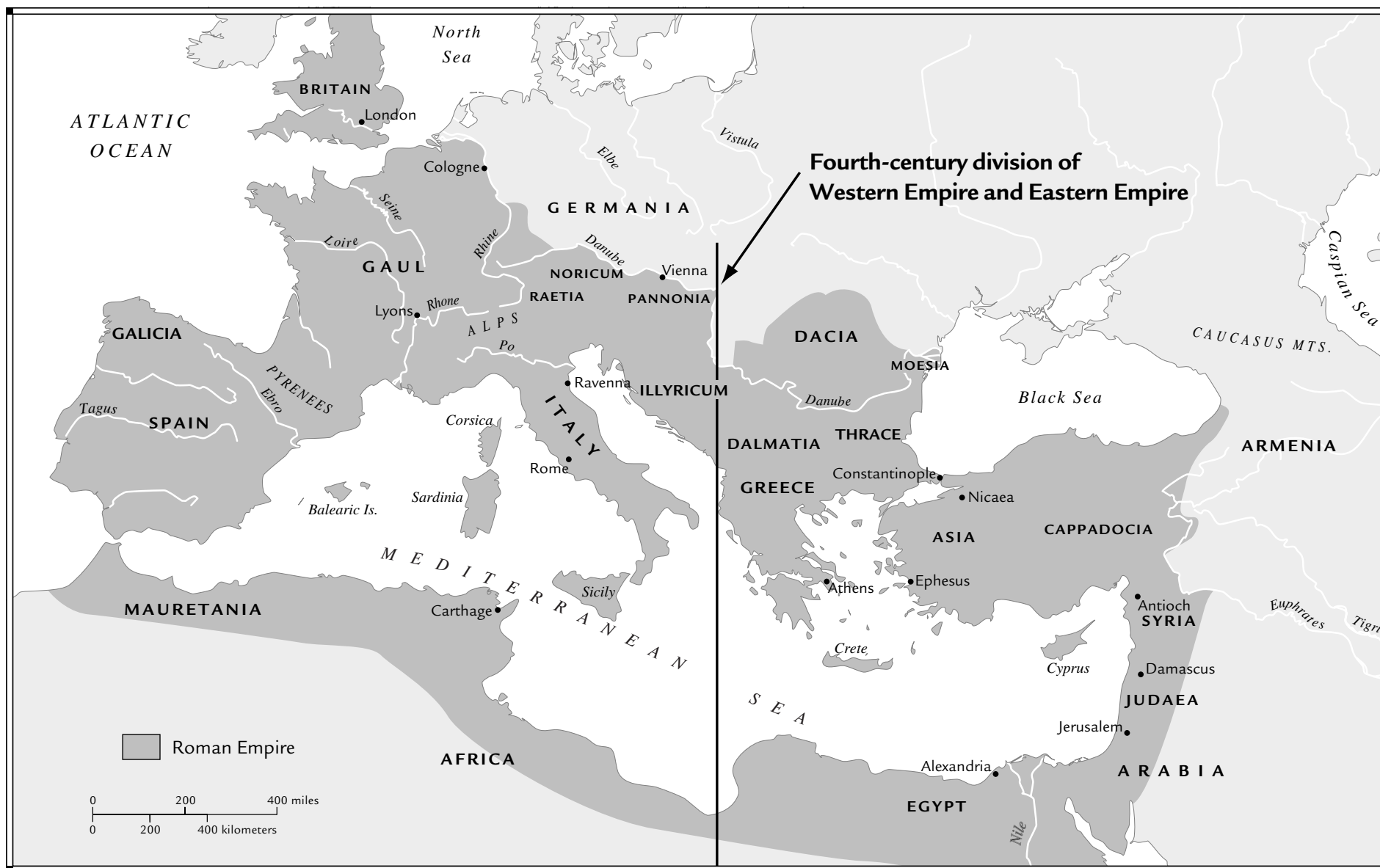
Pacioli

Robert Grosseteste (Grossetete) [1175 -1253](#)

Jean Buridan French [1295 – ~1358](#)

נספח: מפות אירופה בימי הביניים

<http://www.medievaleuropeonline.com/maps.html>

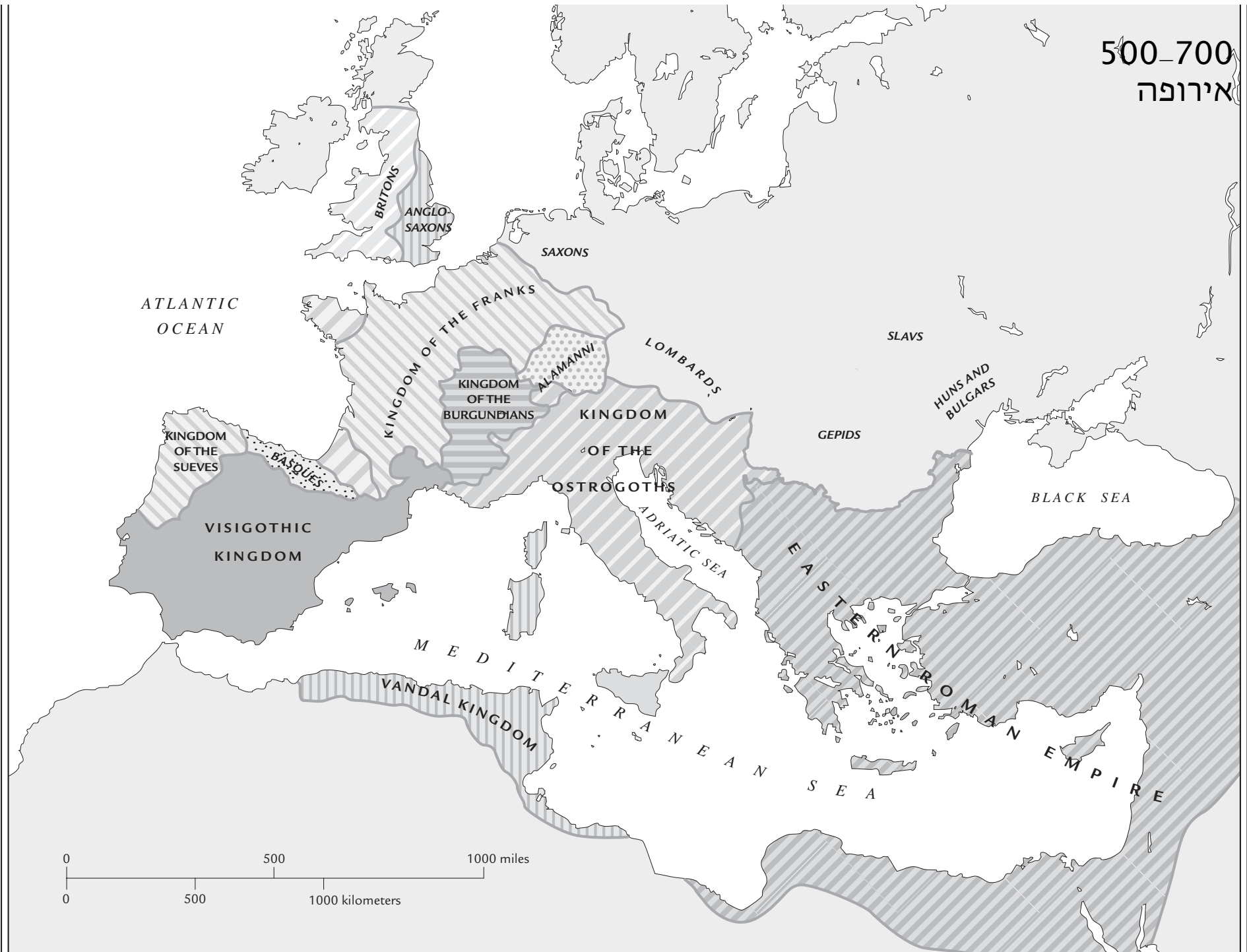


האימפריה הרומית בזמן "Pax Romana" השלום הרומאי

התפשטות
הברברים
500~

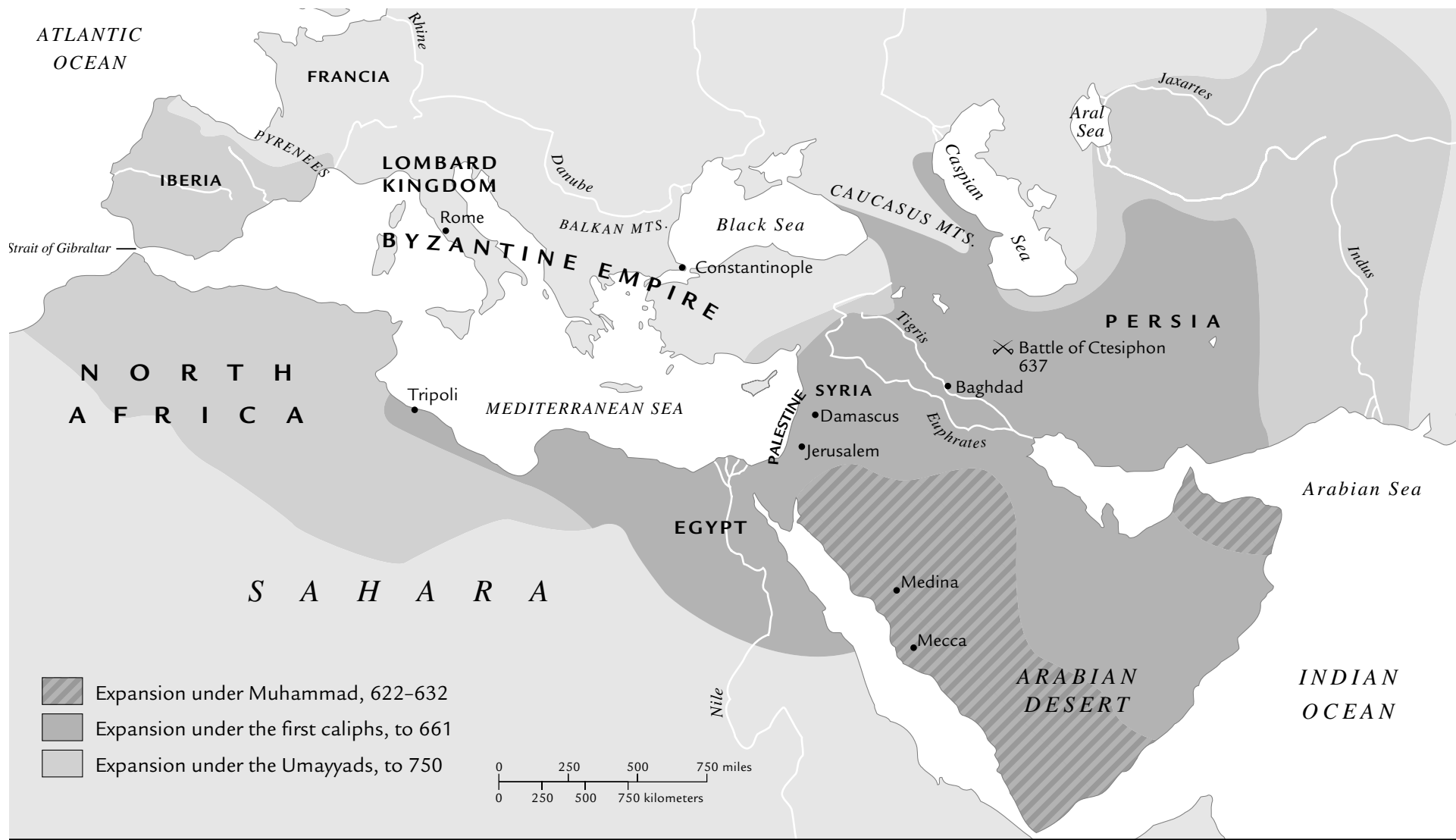


500-700
אירופה

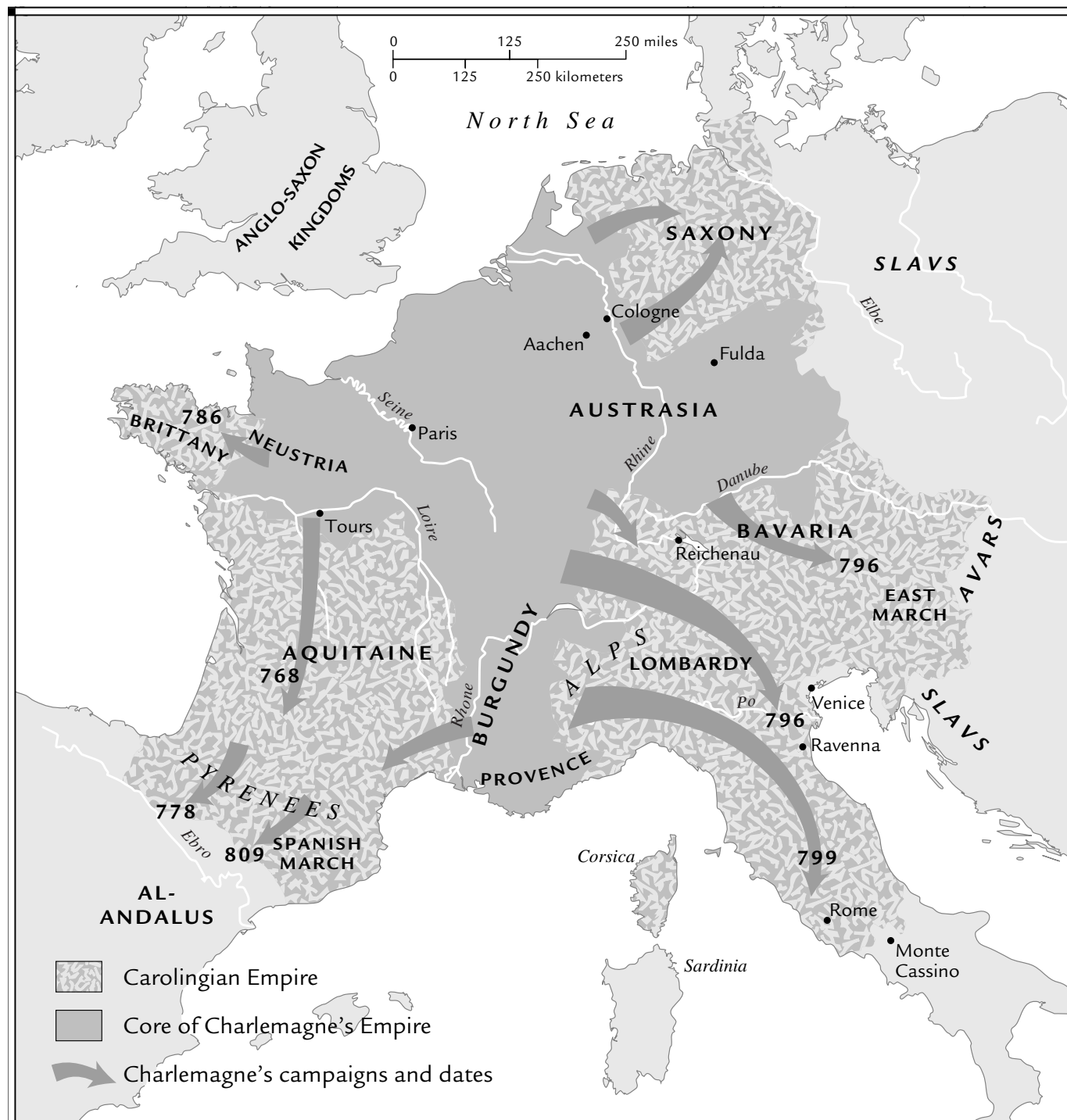


הביזנטינים והאיסלאם: אבדן המזרח התיכון 800 ושוב התרחבות ~1000
שליטי בית אומאיה עוברת לכליפות האבסידים ו~900 כליפים עצמאיים בספרד, מצרים וערב





האימפריה האיסלאמית ~850
 התרחבות תחת מוחמד (היגרה-622) למדבר הערבי (סעודיה)
 הכליפים הראשונים 661 מצרים
 בית אומיה 750 פרס, צפון אפריקה וספרד
 האבסידים מ-750 והסלז'וקים מ-1055



הקרולינגים ~800

כיבושי קרל הגדול
Charlemagne

צרפת, בלגיה, הולנד,
לוקסמבורג, שווייץ,

איטליה, אוסטריה
וגרמניה,

לא ספרד ואנגליה



נכדיו של קרל הגדול
~843
חילקו את האימפריה
לצרפת, גרמניה
(הקיסרות הרומית
הקדושה),
והמרכז, איטליה שויץ
וארצות השפילה)

בצרפת הקפיטנים בפריז
Capetian Dynasty
עולים ב-987
מאבדים שליטה על
האצילים המחוזות צרפת
(דוקסים ורוזנים & counts)

פלישות
הויקינגים
(דנים, נורווגים
ושבדים),
ההונגרים
והמוסלמים
800-1000





המלך אלפרד הגדול 871-899

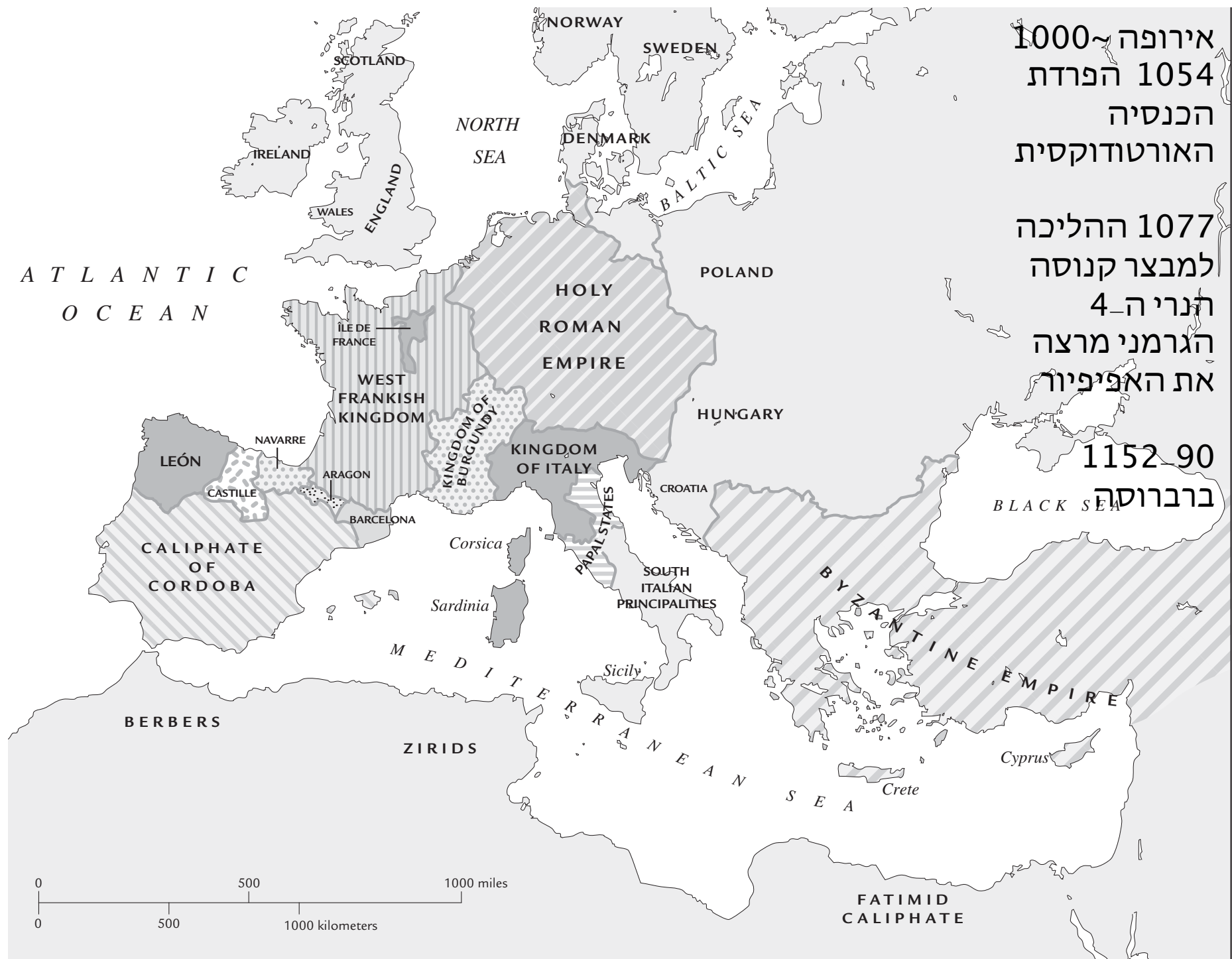
משחרר את לונדון ודרום אנגליה
מהדנים

ונושא לאשה את בת מלך מרסיה

מ-875 ממלכה אנגלית מאוחדת

אוטו 962
מלך האמפריה
הרומית
הקדושה שולט
בבורגונדי ולורין
ממערב,
ו"הביצות"
ממזרח
ובצפון איטליה
מדרום







אוניברסיטאות
בימי הביניים
1200~

אוקספורד,
סלרנו, בולוניה,
פריז, מונטפלייה

עד ~1500 היו
אוניברסיטאות
בכל אזור
באירופה

מגנה קרטה
1215

~1300
פרלמנט

הרקונקויסטה (גירוש ספרד: קסטיליה וארגון 1492 פורטוגל 1497 נוארה 1498 סיציליה וסרדיניה 1507)



שלב
הרקונקיסטה
של חצי האי
האיברי
והתחזקות
קסטיליה
ואראגון



Christian States Muslim States

0 100 200 300 400 miles
0 100 200 300 400 kilometers

התפשטות גרמניה מזרחה לאלבה
ודרומה לדנובה

ושלטון האבירים הטבטונים בים
הבלטי, נפסק ב-1410 בקרב
טנברג מול הפולנים והליטוונים)

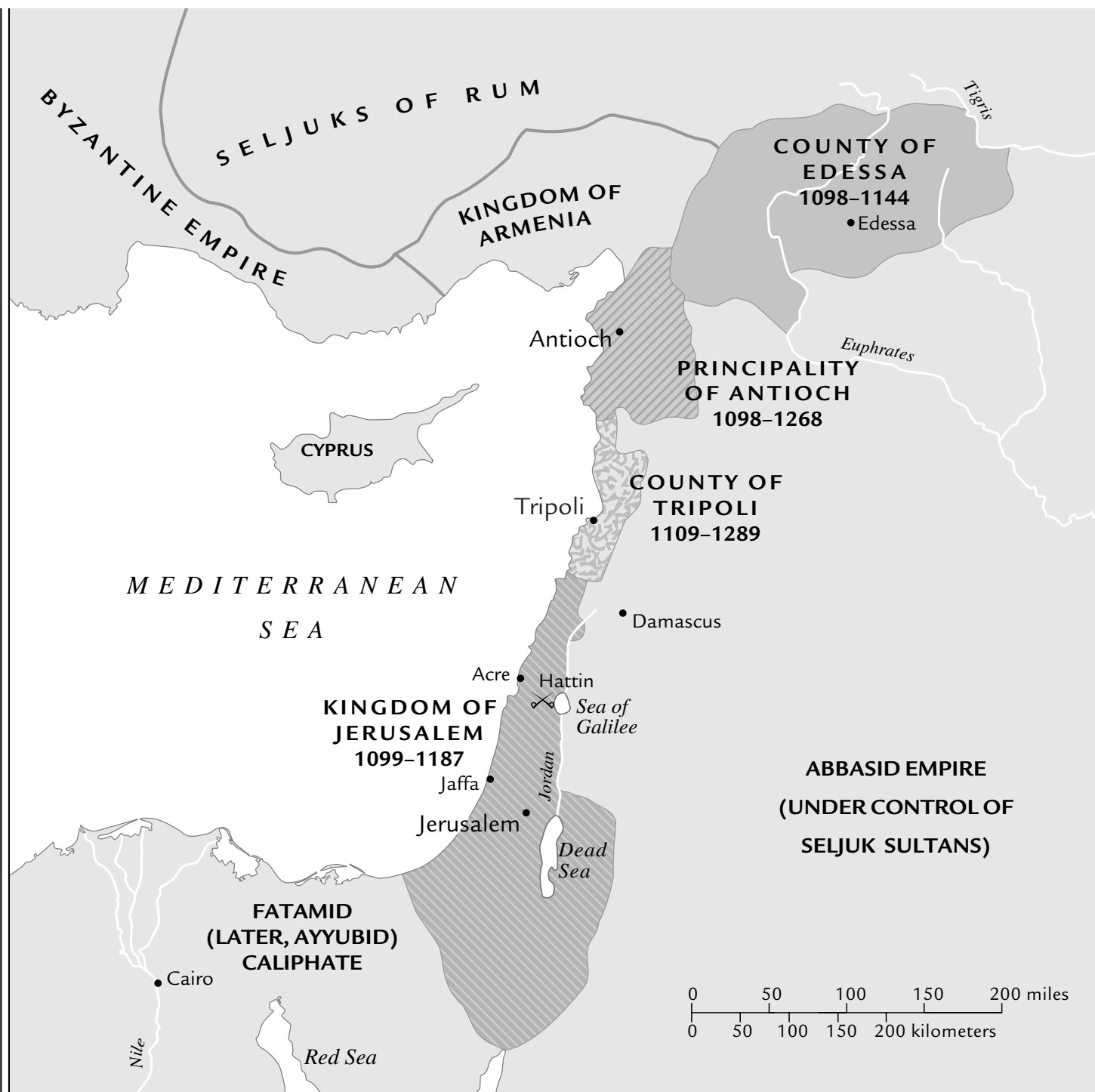
1480 איואן ה-3 מביס את המונגולים



הממלכות
הצלבניות
1100–1300

אדסה,
אנטיוכיה,
טריפולי
וירושלים

סביבם
הסלז'וקים
ממשיכי
האבסידים
מ-1055
(תורכיה
ועירק)
והכליפים של
מצריים

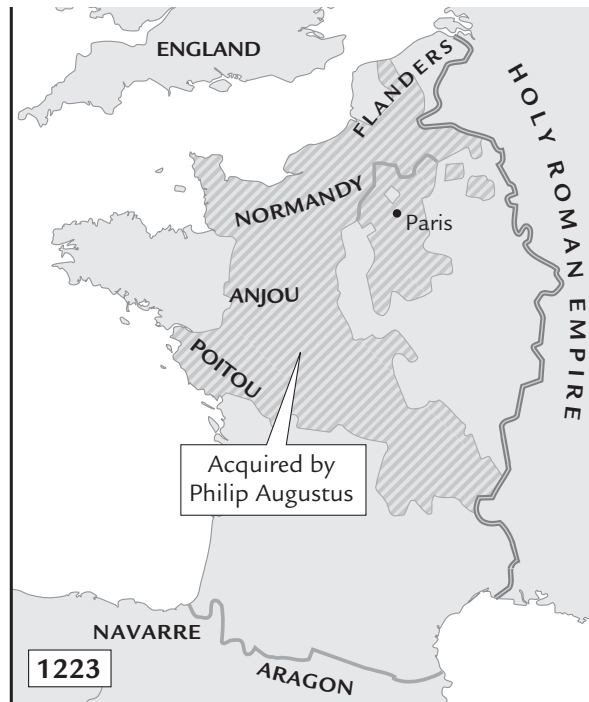


האמפריה הרומית הקדושה ואיטליה ~1300



התחזקות השלטון המרכזי
בצורת לאחר הממלכה
האנגוינית, אנגליה של הנרי
ה-2 נחלה תבוסה בקרב
בובין 1214 (Bouvines)

1309-1377 האפיפיורים
באביניון



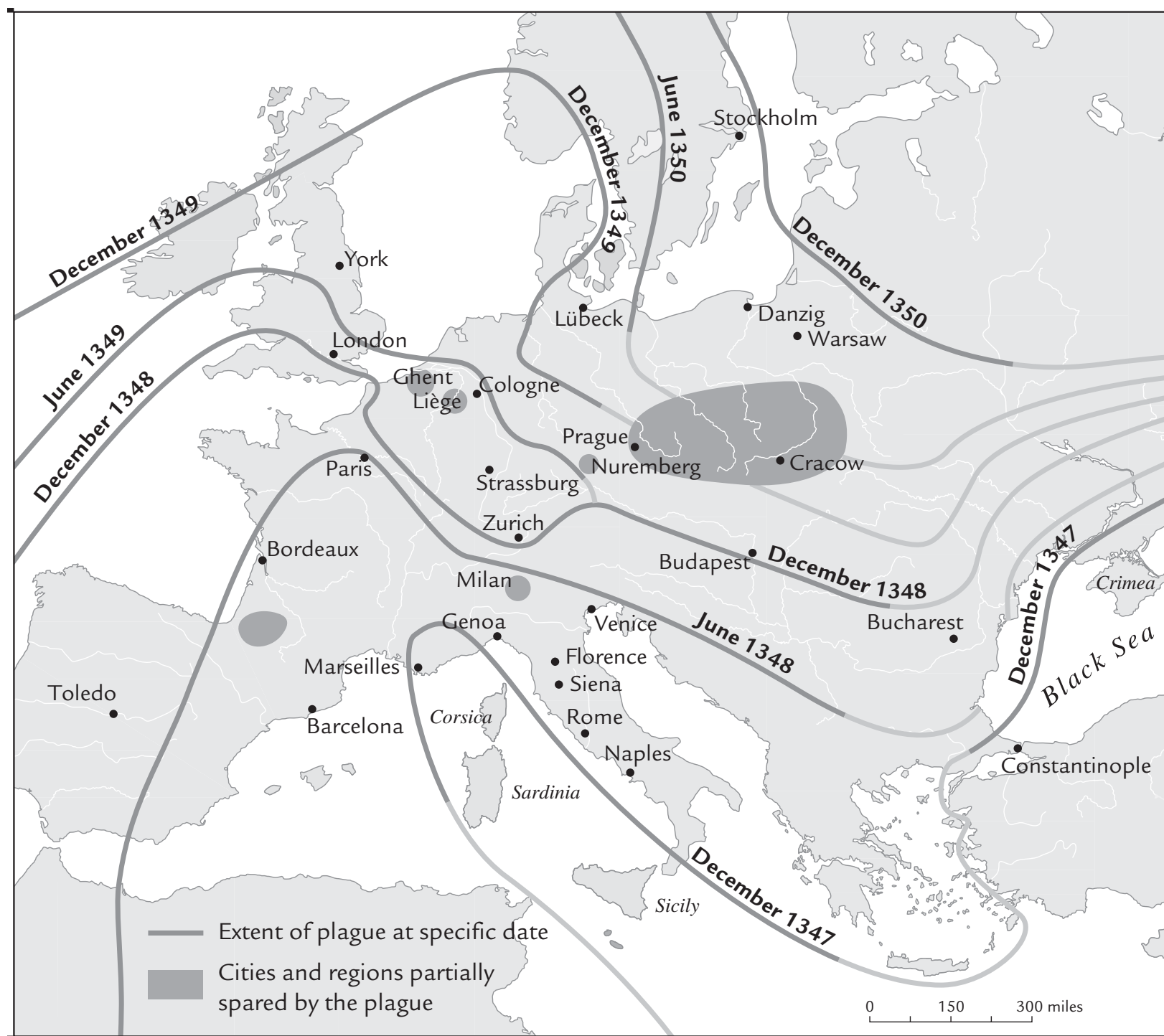


~1300
בזנטיון מצטמקת
גרנדה קטנה וקסטיליה
גדלה
גידול האמפריה הרומית
הקדושה

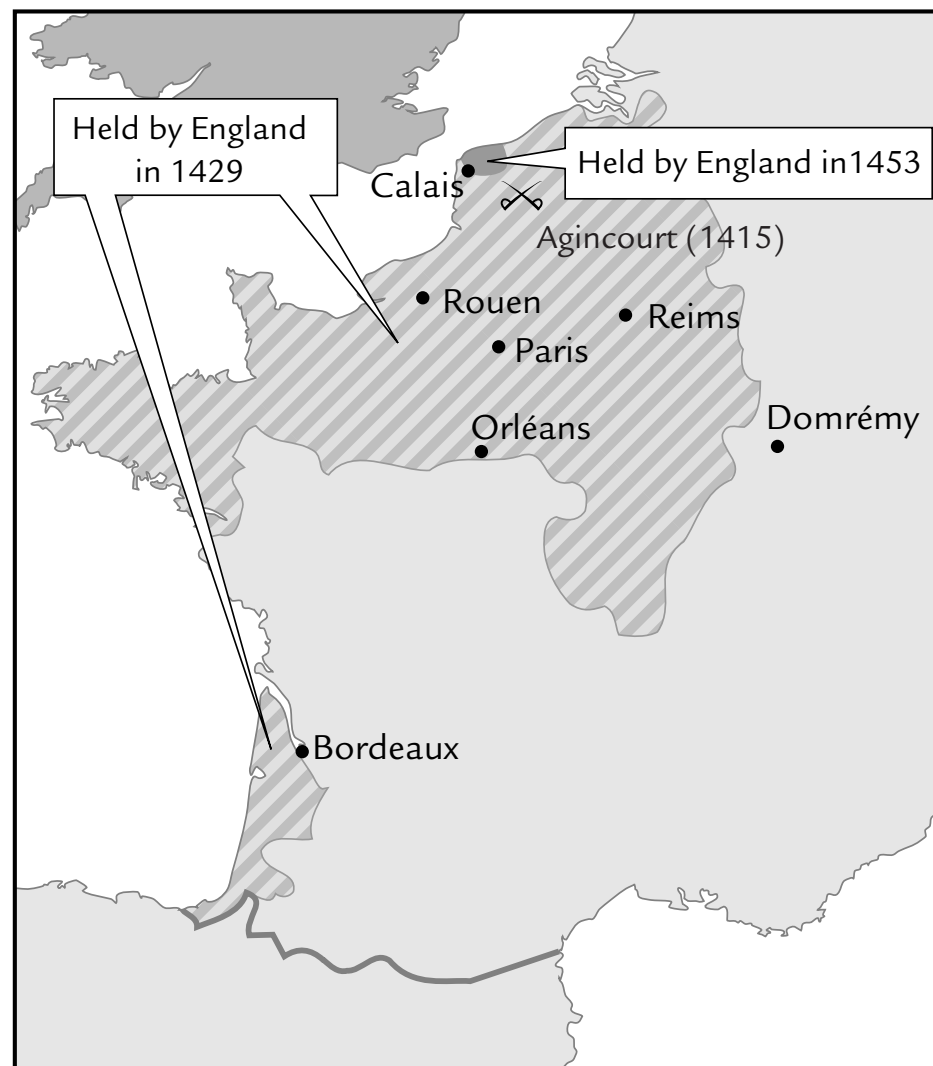
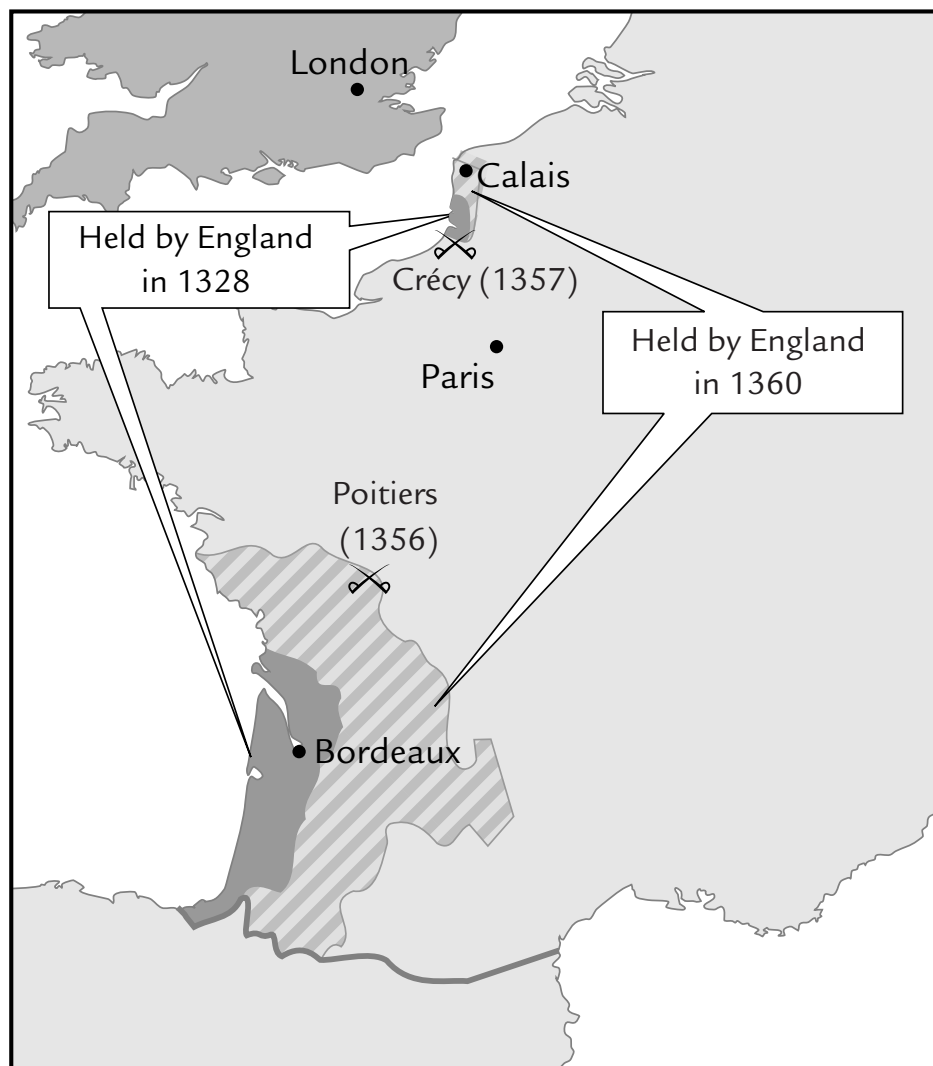
1453 נפילת
קונסטנטינופול

התפשטות
המגיפה
הגדולה
1347-50
מסיציליה
סודיניה
וקורסיקה,
ואח"כ פרצה
בפריז

היו כמה
אזורים בהם
לא היתה
מגיפה
(אפור כהה)



מלחמת 100 השנה בין אנגליה וצרפת
מכיבוש קלה 1347 לשליטה בצפון צרפת וארצות השפילה, והתרחבות בבורדו
עד לאיבוד כל השטח ב-1453 מלבד קלה
1431 שריפת ז'אן ד'ארק



ספרד בזמן איזבלה (קסטיליה) שנשאה לפרדיננד (אראגון) ב-1469



מרכז ומזרח אירופה ~1490



אירופה 1500



