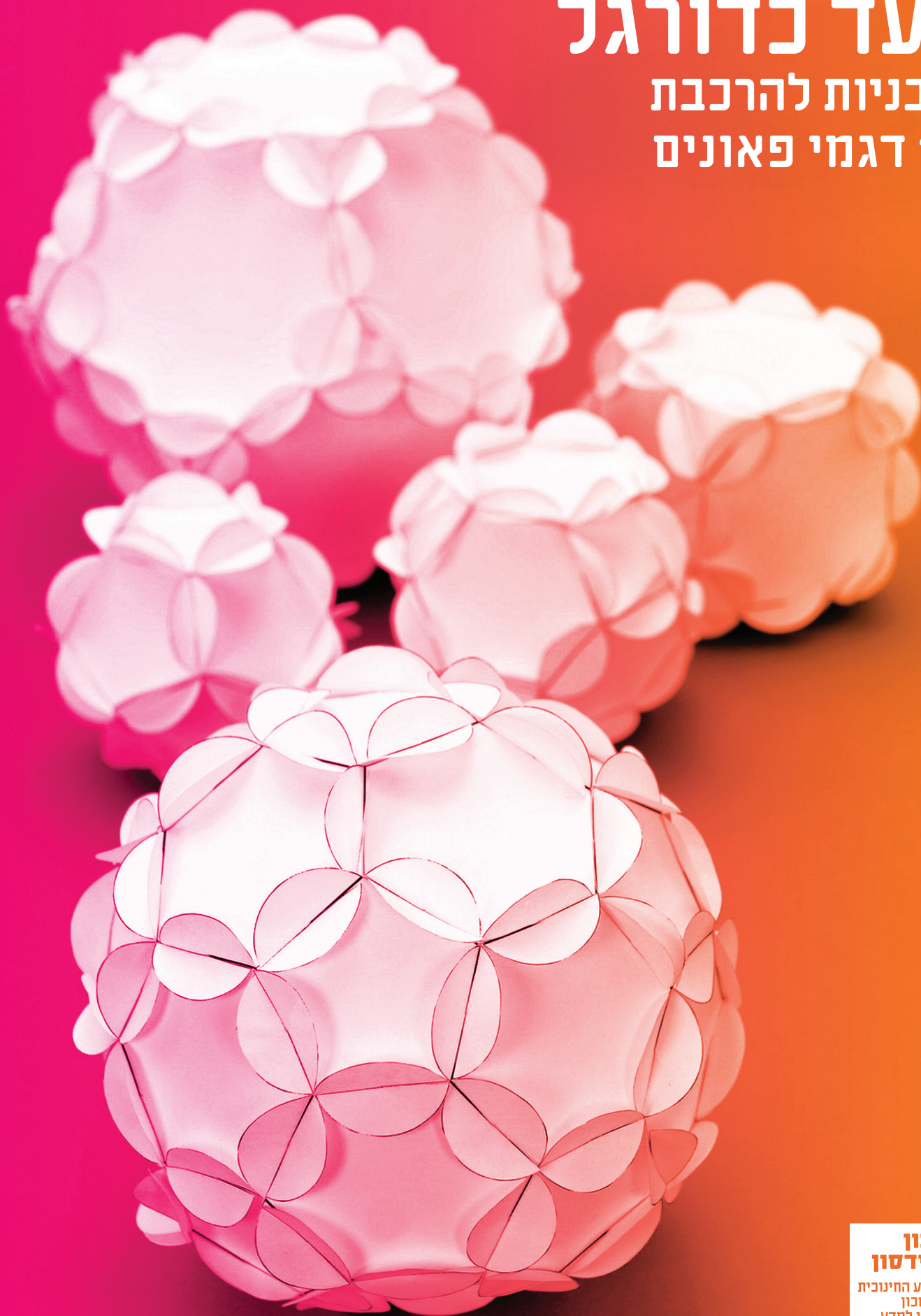


מפירמידה ועד כדורגל

תבניות להרכבת

10 דגמי פאונים



**מכון
דוידסון**

הזרוע החינוכית
של מכון
ויצמן למדע



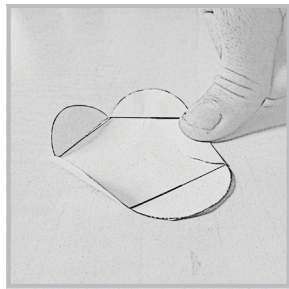
אבי סאייג, סבינה סגרה, יהודית גולן

מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

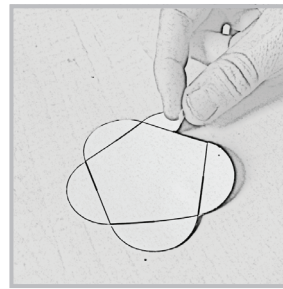


טיפים להרכבת הדגמים

1. כדי להגיע לתוצאה הטובה ביותר בהרכבת הדגמים, רצוי להקפיד על גזירה מדויקת. המצולעים המשורטטים בחוברת מוקפים ב"כנפונים". יש להקפיד לחתוך את הקווים המקווקווים ("חצאי הצלעות") בדיוק עד לנקודת האמצע של הצלע. חיתוך מדויק יקל על הרכבת הגוף ויקנה לו יציבות גדולה יותר. יש לגזור את ההיקף של הכנפונים ואת חצאי הצלעות של כל מצולע (תמונה 1).

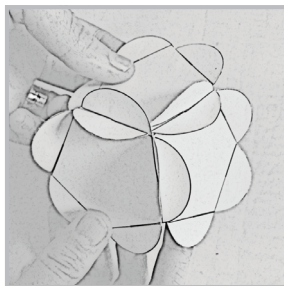


תמונה 2

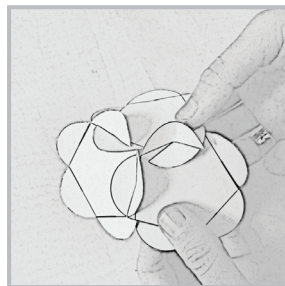


תמונה 1

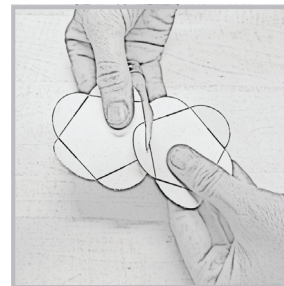
2. לאחר גזירת הצורות ולפני הרכבת הדגם, מומלץ לקפל את ה"כנפונים" לאורך צלעות המצולעים ולפתוח את הקיפול כך שיתקבל קו קיפול לאורך הצלעות (תמונה 2).
3. כדי לבנות את הפאונים יש לשלב את חצאי הצלעות של המצולעים אלו באלו (תמונות 3 ו-4).
4. בהרכבת הגופים התמקדו בקודקוד אחד ושאלו את עצמכם: כמה מצולעים נפגשים בו ואילו? חזרו על התשובה שקיבלתם במהלך כל ההרכבה כקו מנחה. לדוגמה: בעשרימון קטום, דמוי הכדורגל, בכל קודקוד נפגשים מחומש ושני משושים ובתריסרון בכל פינה נפגשים שלושה מחומשים (תמונה 5). הרכיבו את הגוף תוך שמירה על כלל זה.



תמונה 5



תמונה 4



תמונה 3

5. אין צורך להשתמש בדבק להרכבת הפאונים, אבל אם רוצים אפשר להדביק את הכנפונים זה לזה.
6. ההרכבה של גופים שבנויים ממשולשים מאתגרת יותר.
7. אם במהלך ההרכבה חלקים שהורכבו מתחילים להתפרק, אפשר להיעזר באטבים כדי לחזק את המבנה עד לסיום הבנייה.
8. בהרכבה של חלק מהדגמים אפשר להתחיל בהרכבה של שני חצאי כדורים ("כיפות") ולאחר מכן לחבר אותם זה לזה באמצעות חיבור כנפונים באופן עקבי עם כיוון השעון או לחלופין בניגוד לכיוון השעון לאורך ההיקף של קו החיבור.
9. כדי להוסיף פן יצירתי לדגמים שלכם תוכלו לצבוע כל מצולע, לקשט, לאייר, להדביק תמונות, להוסיף כיתובים, לחורר ועוד, כיד הדמיון הטובה עליכם.

הערה: בכל דפי הגזירה, לכל דגם מופיעה תמונת הפאון שעליו הוא מבוסס. הקפידו שהכנפונים יפנו מחוץ לפאון.



מפירמידה ועד כדורגל

תבניות להרכבת 10 דגמי פאונים

תוכן העניינים

כריכה פנימית	טיפים להרכבת הדגמים
3	הקדמה
	תבניות:
9	ארבעון
11	ארבעון קטום
13	קובייה
15	קובייה קטומה
21	תמניון
23	תמניון קטום
27	תריסרון
31	תריסרון קטום
43	עשרימון
45	עשרימון קטום

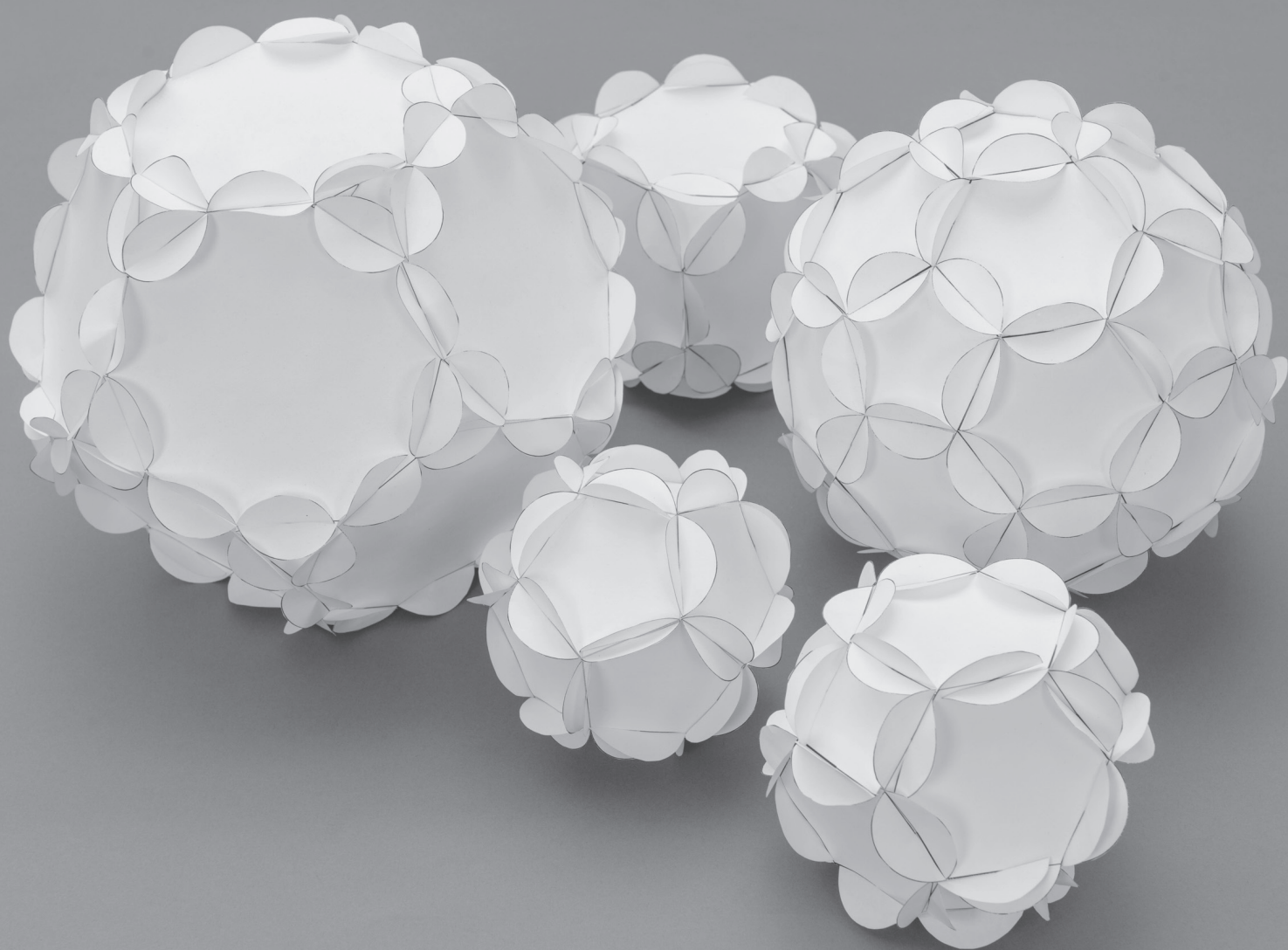
עיצוב גרפי: מריה גורחובסקי
צילום: אוהד הרכס
תרגום: יפעת אדלר
עריכת לשון: רמי שלהבת, מיכל אלרן
עיצוב עטיפה אחורית: חופית קינדיל
סיוע בהרכבה: אריאלה שקלים

רעיון, שרטוט ועריכה: ד"ר אבי סאייג
הסבר מתמטי: ד"ר סבינה סגרה
הפקת החוברת, ריכוז הפרויקט, עריכה והוראות הרכבה:
יהודית גולן

החוברת הזו יצאה לראשונה לאור באנגלית לכבוד כנס במתמטיקה יצירתית, קוסמות ואומנות.
תודתנו נתונה לד"ר יוסי אלרן ולפרופ' מאיה שולדינר

© כל הזכויות על החומר שבדפים האלה שמורות למכון דוידסון לחינוך מדעי, הזרוע החינוכית של מכון ויצמן למדע (אלא אם צוין אחרת בכותרות התרשימים).

מהדורת 15 במאי 2016



הקדמה

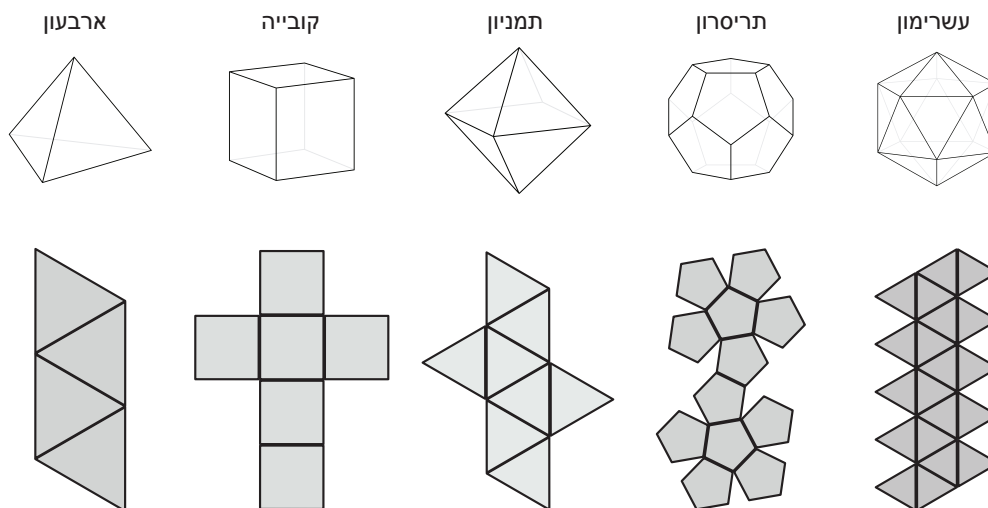
הגופים האפלטוניים והיופי שבטבע

מהו לדעתכם היופי המושלם? האם התשובה לשאלה הזאת היא רק עניין של טעם? ואולי קיימת תשובה מדעית?

למתמטיקאי ולפילוסוף היווני אפלטון (428-348 לפנה"ס) הייתה תשובה משלו: הוא מצא את היופי המושלם בחמישה גופים שקרויים מאז על שמו – הגופים האפלטוניים. יש להם שמות בעברית וגם ביוונית: הארבעון או הטטרהדרון, הקובייה או ההקסהדרון, התמניון (דו־פירמידה ריבועית) או האוקטהדרון, התריסרון או הדודקהדרון והעשרימון או האיכוסהדרון (ראו תרשים למטה).

מקור השמות של הגופים האפלטוניים

הארבעון, מלשון ארבע, בעל ארבע פאות.
הקובייה, מלשון חז"ל (מיוונית kubos), בעלת שש פאות.
התמניון, מלשון "תִּמְנָא" בשפה הארמית שפירושו שמונה, בעל שמונה פאות.
התריסרון, מלשון תריסר או שנים-עשר (כמו "תריסר ביצים"), בעל שתים-עשרה פאות.
העשרימון מלשון עשרים, בעל עשרים פאות.

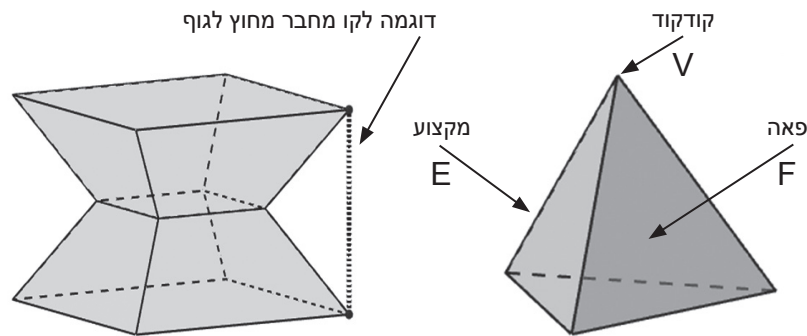


תרשים 1: בשורה העליונה - חמשת הגופים האפלטוניים בסדר שהוזכר למעלה (משמאל לימין) ובשורה התחתונה - הפריסות שלהם. כשפורסים גוף על דף נייר אפשר לבנות את הגוף בעזרת קיפול. (מקור: שאטרסטוק)

למה חמשת הגופים האפלטוניים כל כך מעניינים?

ראשית, אלה גופים מְשַׁכְּלִים. מה הכוונה בגוף משוכלל? כל הפאות של גוף משוכלל הן מצולעים חופפים (זהים) זה לזה: משולשים, ריבועים או מחומשים, והפאות עצמן הן מצולעים משוכללים, כלומר כל הצלעות שלהן שוות. בנוסף, הם קְמַוְרִים: כל קו מחבר בין שתי נקודות נשאר בתוך הגוף. ראו בתרשים 2 דוגמה לגוף שאינו קמור.

בנוסף, מספר המקצועות שנפגשים בכל קודקוד של גוף אפלטוני יהיה תמיד זהה (בדקו זאת!)

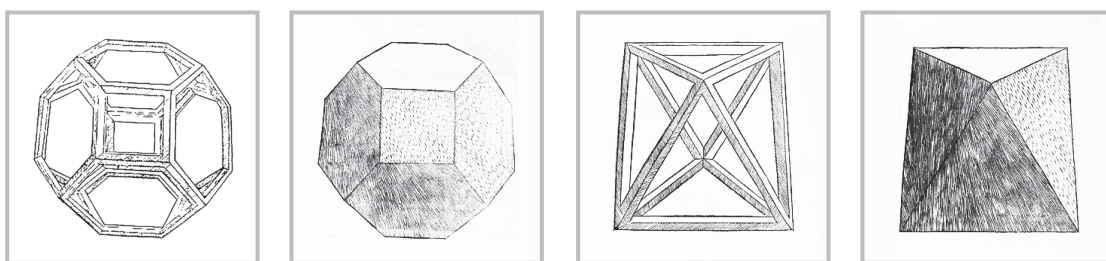


תרשים 2: בצד ימין: קודקוד, מקצוע ופאה של פאון. בצד שמאל: דוגמה לגוף שאינו קמור.

אפלטון התייחס לגופים האלה כאל "אבני הבניין" של היקום. בתקופתו, ביוון העתיקה, הייתה תפיסה רווחת שאש, אדמה, אוויר ומים הם היסודות שמהם מורכבים כל החומרים. אפלטון קישר בין הארבעה לאש, בין הקובייה לאדמה, בין התמניון לאוויר, בין העשרימון למים ובין התריסרון ליקום כולו.

הגופים הארכימדיים

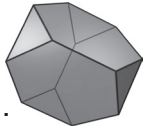
קבוצה נוספת של גופים מעניינים היא שלושה-עשר הגופים הארכימדיים. הם קרויים על שם המדען היווני אַרְכִימֶדֶס (212-287 לפנה"ס), שעסק בהם בספר שכל עותקיו אבדו. הגופים האפלטוניים בנויים **מסוג אחד** של מצולעים (משולשים, ריבועים או מחומשים) ולעומתם הגופים הארכימדיים בנויים **מלפחות שני סוגים** של מצולעים משוכללים. בכל גוף ארכימדי כל הקודקודים זהים בהרכב המצולעים שנפגשים בהם – והרכב זה שונה בין הגופים הארכימדיים השונים. גופים ארכימדיים מתקבלים באמצעות קטימה, כלומר חיתוך של כל הקודקודים או המקצועות של גופים אפלטוניים.

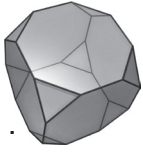


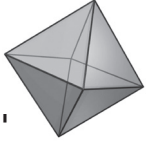
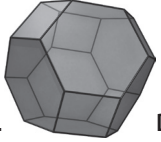
תרשים 3: איור מ-"De Divina Proportione": התמניון (מלא וחלול) והתמניון הקטום (מלא וחלול)

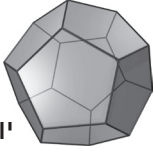
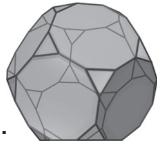
הגופים הארכימדיים הנגזרים מקטימת הגופים האפלטוניים

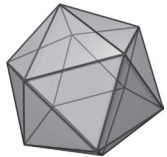
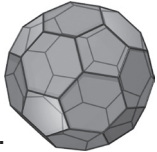
בחוברת הזאת נתמקד בחמשת הגופים הארכימדיים שמתקבלים באמצעות קטימת קודקודים של הגופים האפלטוניים:

מארבעון  יוצרים ארבעון קטום  . כל משולש מקורי נקטם בכל פינה והופך למשושה, ונוספים ארבעה משולשים קוטמים.

מקובייה  יוצרים קובייה קטומה  . כל ריבוע מקורי נקטם בכל פינה והופך למתומן, ונוספים שמונה משולשים קוטמים.

מתמניון  יוצרים תמניון קטום  . כל משולש מקורי נקטם בכל פינה והופך למשושה, ונוספים שישה ריבועים קוטמים.

מתריסרון  יוצרים תריסרון קטום  . כל מחומש נקטם בכל פינה והופך למעושר, ונוספים עשרים משולשים קוטמים.

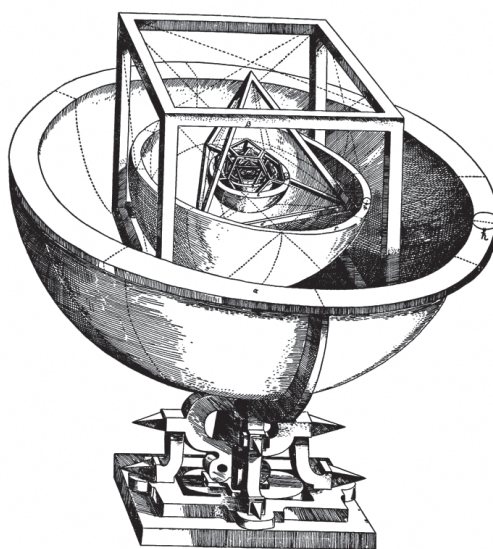
מעשרימון  יוצרים כדורגל, הרי הוא עשרימון קטום  . כל משולש נקטם בכל פינה והופך למשושה, ונוספים שנים-עשר מחומשים קוטמים.

כאמור, לרוע המזל אבדו העבודות שבהן ארכימדס דן בגופים האלה במשך הזמן. המקור הקדום ביותר שנמצא שדן בגופים האלה הוא הספר החמישי של ה"סינגוה" או ה"אוסף" שכתב המתמטיקאי היווני פֶּאפּוֹס מֶאֶלְכְּסַנְדְּרִיָּה (290-350 לספירה בערך). פאפוס נודע בזכות "משפט המשושה של פאפוס" (Hexagon theorem), שהוא משפט חשוב בגיאומטריה פְּרִיֶקְטִיבִית – תחום במתמטיקה שעוסק באופן שבו גופים תלת-ממדיים, כמו פאונים, נראים בצירור על משטח דו-ממדי (למשל על דף נייר).

הגופים הארכימדיים התגלו מחדש באירופה בתקופת הרֶנֶסָנס, כשהאמנים והמלומדים חזרו לעסוק בתגליות מימי יוון ורומא העתיקה. האיוורים בתרשים 3 מופיעים בספר "De Divina Proportione" –

"על הפרופורציה האלוהית" שכתב המתמטיקאי האיטלקי לוקה פאצ'ולי (1517-1447) ואייר תלמידו, האמן והמדען המפורסם לאונרדו דה וינצ'י (1519-1452).

המתמטיקאי והמדען הגרמני יוהנס קפלר (1630-1572), נודע במחקריו בתחום האסטרונומיה (חקר גרמי השמיים). קפלר ניסה לחשב את הרדיוסים של מסלולי חמשת כוכבי הלכת שהיו מוכרים בזמנו – כלומר את המרחק שלהם מהשמש. הוא התייחס למסלולי כוכבי הלכת כרדיוסים של כדורים שחוסמים סדרה של גופים אפלטוניים, כשכל כדור חוסם בדיוק אחד מחמשת הגופים האפלטוניים ונחסם על ידי גוף אפלטוני אחר, זה בתוך זה (ראו תרשים 4).



תרשים 4: מודל מערכת השמש של קפלר

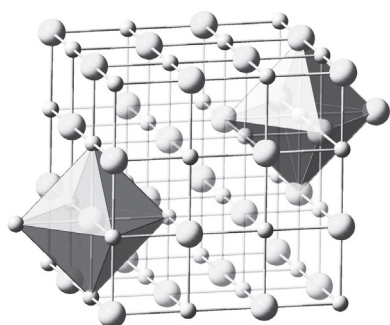
היום אנו יודעים כי שני הרעיונות של חכמי העבר שהוזכרו אינם נכונים: הן רעיון ההתאמה של אפלטון בין "היסודות הבסיסיים" (אש, מים, אדמה ואוויר) לגופים האפלטוניים והן מודל מערכת השמש של קפלר. לעומת זאת, הרעיון הבסיסי שאפשר למצוא גופים משוכללים בטבע שריר וקיים.

גופים משוכללים בטבע

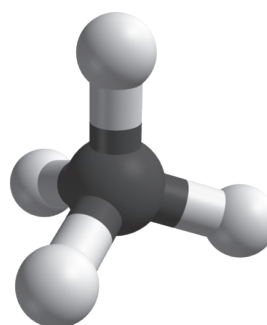
היכן נמצא בטבע ארבעון?

כל החומרים בטבע בנויים מחלקיקים קטנים מאוד, הקרויים אטומים ומולקולות. בטבע יש כמאה סוגים שונים של אטומים, שהם היסודות הכימיים (לא להתבלבל עם ארבעת היסודות מתקופת חכמי יוון). האטומים יכולים להיקשר ביניהם וכך ליצור מולקולות.

אחד מהיסודות החשובים ביותר הוא פחמן, שנמצא כמעט בכל החומרים שמהם בנויים יצורים חיים. הפחמן יכול ליצור ארבעה קשרים כימיים, הנמצאים מסביב לקודקודיו של ארבעון דמיוני שבמרכזו נמצא אטום הפחמן. בתרשים 5 תוכלו לראות דגם של החומר מתאן (שבשפת הכימאים מסומן CH_4), שמורכב מאטום אחד של פחמן המוקף בארבעה אטומים של מימן. רבות מהתכונות המיוחדות של תרכובות הפחמן נובעות מהארגון הסימטרי שלו.



תרשים 6: המבנה הגבישי של מלח בישול, NaCl



תרשים 5: המבנה של מולקולת מתאן. ארבעת אטומי המימן שמקיפים את אטום הפחמן המרכזי נמצאים בקודקודי ארבעון דמיוני

היכן נמצא בטבע תמניון?

במלח בישול, בין השאר! מלח בישול הוא חומר שמורכב מגבישים קטנים, כך שכל גביש של מלח מורכב מחלקיקים קטנטנים המכונים יונים – כלומר אטומים בעלי מטען חשמלי. מלח הבישול מורכב מיונים של נתרן (אטומים של היסוד נתרן, הטעונים במטען חשמלי חיובי, +), ומיונים של כלור (אטומים של היסוד כלור הטעונים במטען חשמלי שלילי, -). כל יון מוקף בשישה יונים טעונים במטען הנגדי לו ומסודרים כקודקודי תמניון (ראו תרשים 6 למעלה).

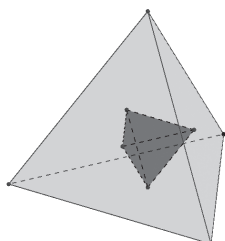
היכן נמצא בטבע עשרימון?

"כדור באקי" הוא מולקולה כדורית חלולה שמורכבת מ-60 אטומי פחמן במבנה של עשרימון קטום. עוד בסוף שנות ה-60 ותחילת שנות ה-70 של המאה הקודמת נחזה קיומם של "כדורי באקי" באופן תיאורטי (על ידי חישובים), אך רק בשנת 1985 הצליחו לייצר אותם, והם זיכו את מגליהם, הרולד קרוטו, רוברט קרל וריצ'רד סמולי, בפרס נובל בכימיה – הפרס הגבוה ביותר המוענק בעולם המדעי.

מדוע יש רק חמישה גופים אפלטוניים?

התשובה לכך נעוצה בזוויות הפנימיות של המצולעים שמרכיבים אותם. כדי ליצור גוף קמור צריכות להיפגש לפחות שלוש פאות, וסכום הזוויות שנפגשות בקודקוד צריך להיות קטן מ-360 מעלות, שהוא סכום הזוויות במעגל.

כשסכום הזוויות שבקודקודי המצולעים הוא 360 מעלות אפשר לרצף באמצעות אותם מצולעים את המישור אך אי אפשר ליצור מהם גוף קמור. לדוגמה, מפגש של שלושה משושים משוכללים בקודקוד אחד יוצר מישור, כמו בכורת דבורים (ראו תרשים 7).



תרשים 8: הארבעון דואלי לעצמו (ראו שאלת חקר 2 בעמוד הבא)



תרשים 7: ריצוף משושה

הזוויות שבמשולש שווה צלעות, ריבוע ומחומש משוכלל מאפשרות הרכבה של גוף קמור. הזווית הפנימית של משולש משוכלל היא 60 מעלות, הזווית הפנימית של ריבוע היא 90 מעלות והזווית הפנימית של מחומש משוכלל היא 108 מעלות. אפשר לבדוק כמה מצולעים משוכללים ייפגשו בקודקוד כך שסכום הזוויות יהיה קטן מ-360 מעלות. לדוגמה, כשחמישה משולשים שווים צלעות נפגשים בקודקוד משותף נוצרת זווית של 60 מעלות כפול חמש, כלומר 300 מעלות. סכום זה קטן מ-360 מעלות ולכן המשולשים הללו יוצרים גוף שאינו שטוח – מעין הר.

משימה: בדקו את נוסחת אוילר $V-E+F=2$ על הגופים שבחוברת (ראו תרשים 2 להסבר מהם V , E , F). לפי הנוסחה, מספר הקודקודים פחות מספר המקצועות ועוד מספר הפאות תמיד שווה ל-2 עבור כל פאון שנבחר.

שאלות חקר למתקדמים

- הנה עוד כמה דברים שתוכלו לבדוק אחרי שתרכיבו את הגופים שבחוברת:
- 1) כמה פאות חופפות יכולות להיפגש בקודקוד של גוף קמור? בפיסקה הקודמת נתנו דוגמה של חמישה משולשים שווים צלעות שמתחברים בקודקוד משותף. מצאו דוגמאות נוספות.
 - 2) סמנו את מרכזי הפאות של הגופים האפלטוניים ודמיינו שהמרכזים האלה הם הקודקודים של גוף חדש קטן יותר שנמצא בתוך הגוף האפלטוני המקורי. הגופים הקטנים החדשים הללו מוגדרים כ"דואליים" לגופים המקוריים. לדוגמה, הארבעון דואלי לעצמו (ראו תרשים 8). אילו גופים דואליים לקובייה, לתמניון, לתריסרון ולעשרימון?
 - ספרו את הקודקודים ואת הפאות ובדקו את תשובתיכם. זכרו שכל קודקוד של גוף דואלי נמצא במרכז כל פאה של הגוף המקורי.
 - 3) גוף אפלטוני אחד וגוף ארכימדי אחד יכולים לרצף את המרחב ללא חורים. מהם הגופים האלה?
 - 4) איזה מהגופים הקטומים נראה כמו כדורגל?

(תוכלו למצוא את התשובות על גב החוברת)

הערה

שימו לב, אורכי הצלעות של כל המצולעים שבחוברת שווים, כך שגם המקצועות של כל הגופים שווים. לעומת זאת, נפחי הגופים שונים מאוד: נפח הארבעון הוא הקטן ביותר, ונפח התריסרון הקטום הוא הגדול ביותר.

ההשראה לחוברת הזאת הגיעה ממודלים קישוטיים של תריסרונים מכונפים שמצאנו ברשת האינטרנט. אימצנו את הרעיון של כנפיים מנייר שמשמשים להרכבת גופים ללא שימוש בדבק והרחבנו אותו לגופים רבים נוספים.

קישורים שימושיים באינטרנט

howaboutorange.blogspot.co.il/2011/11/how-to-make-3d-paper-ball-ornaments.html

youtube.com/watch?v=btPi4HaYWas

אתם מוזמנים להעלות תמונות של הדגמים שלכם בדף הפייסבוק שלנו:

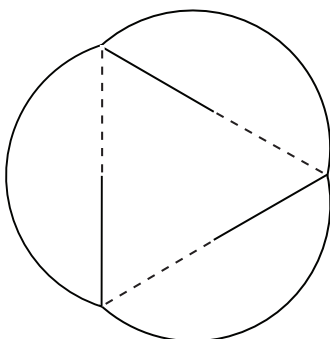
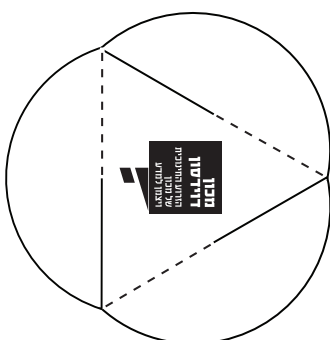
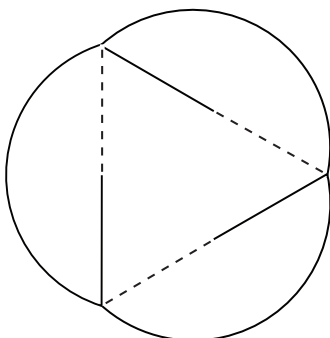
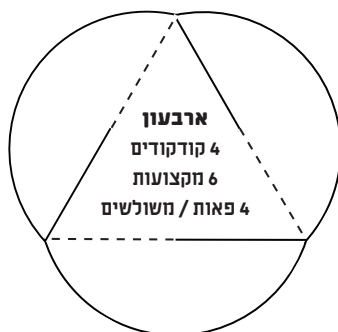
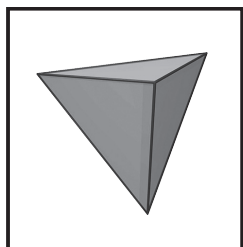
facebook.com/DavidsonOnLine

התמונות

מקור כל התמונות שבמעמוד 5 ובדפי הגזירה הוא ויקיפדיה, בכפוף לרישיון CC BYSA 3.0 של Wiki Commons.

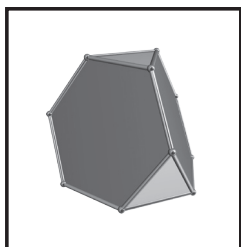


ארבעון



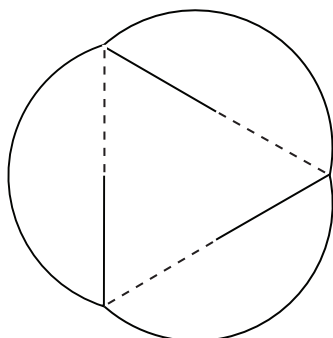
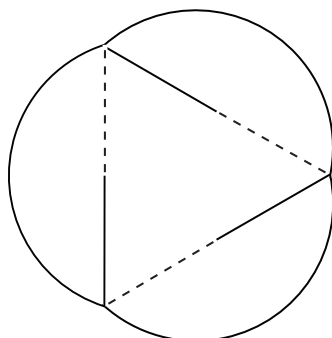
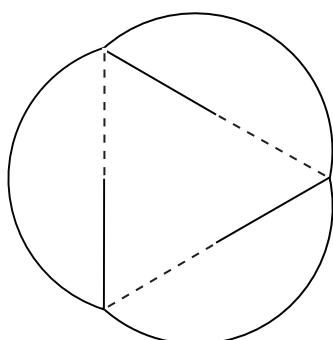
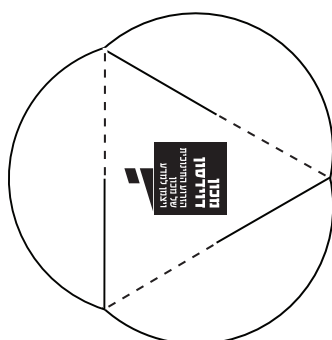
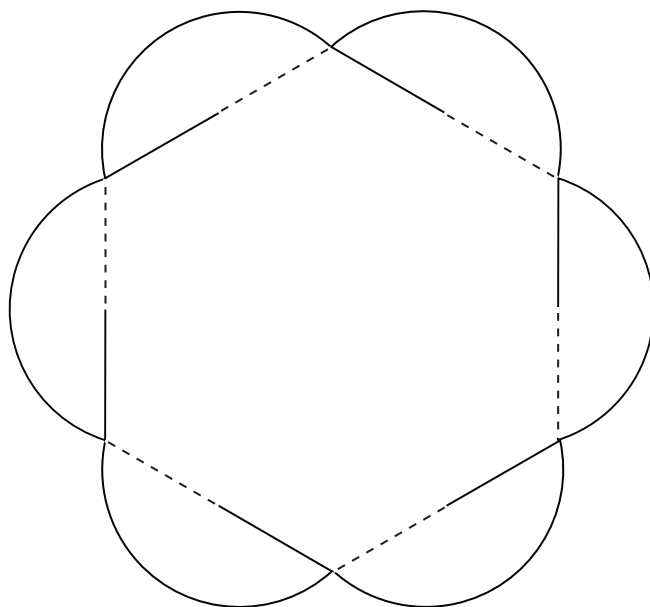
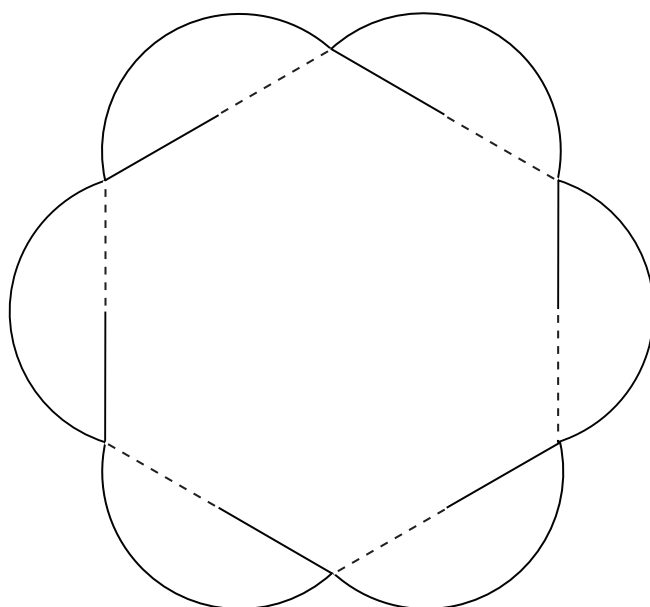
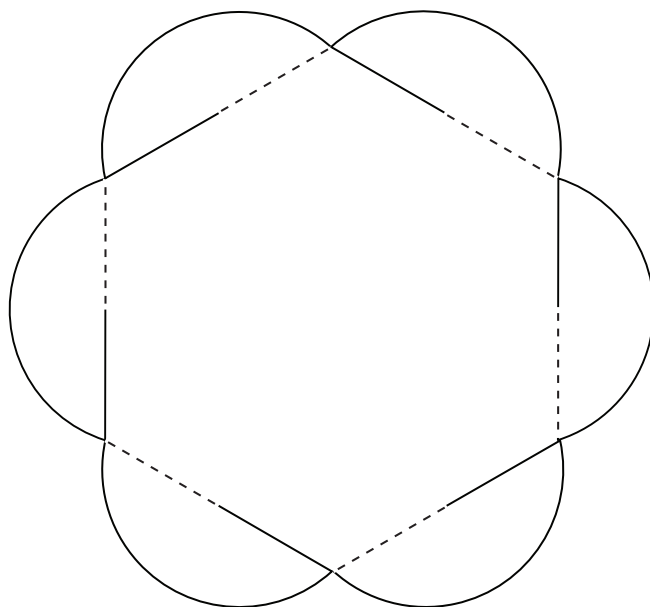


ארבעון קטום



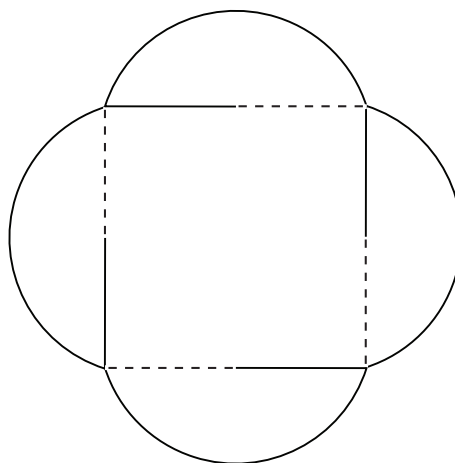
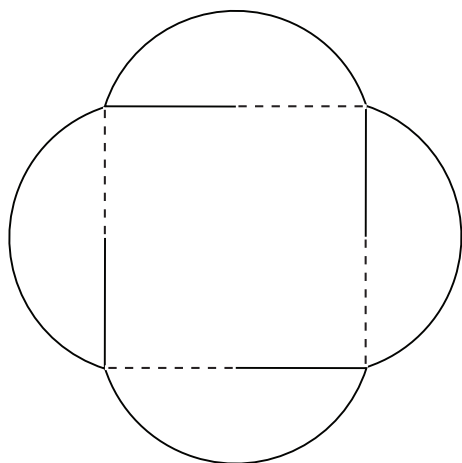
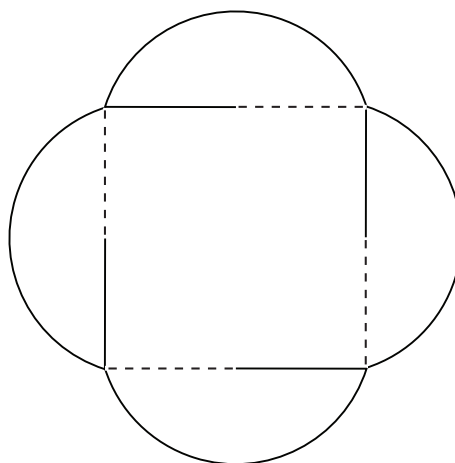
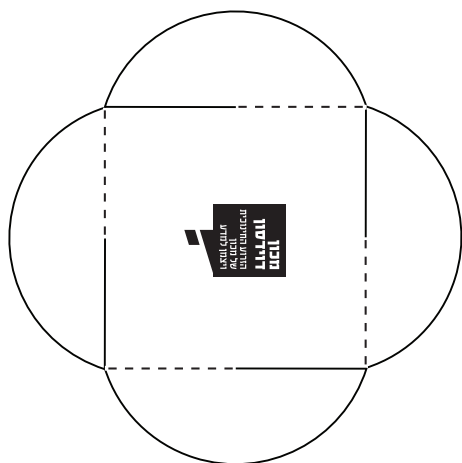
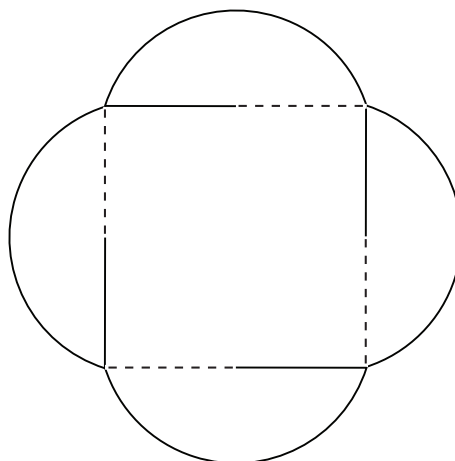
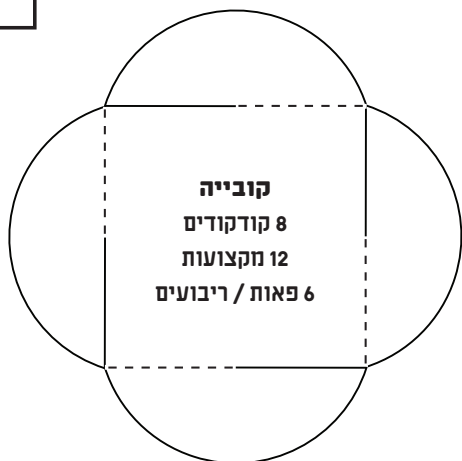
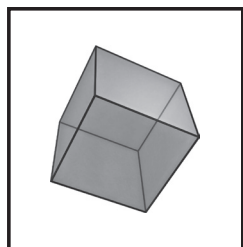
ארבעון קטום
4 חשולשים
4 חשושים

12 קודקודים
18 מקצועות
8 פאות



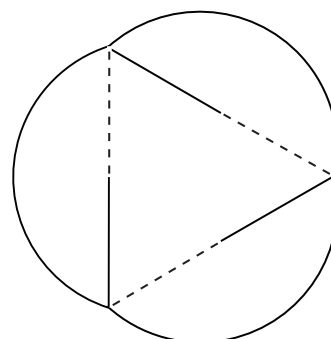
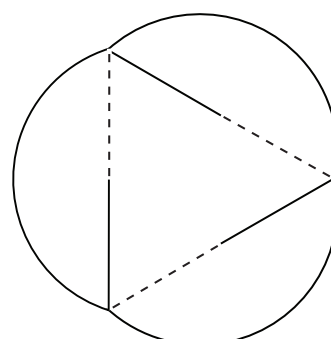
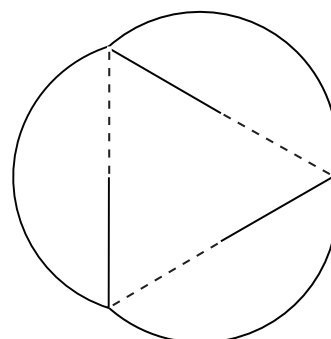
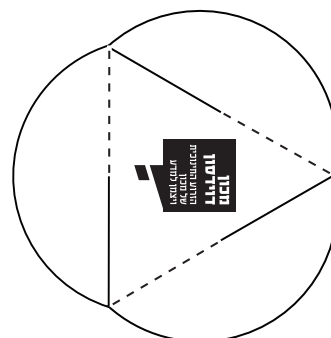
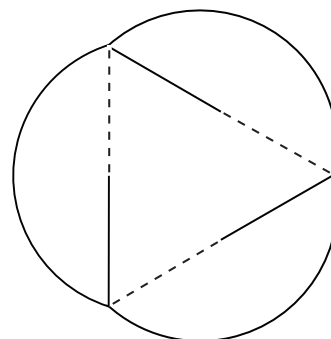
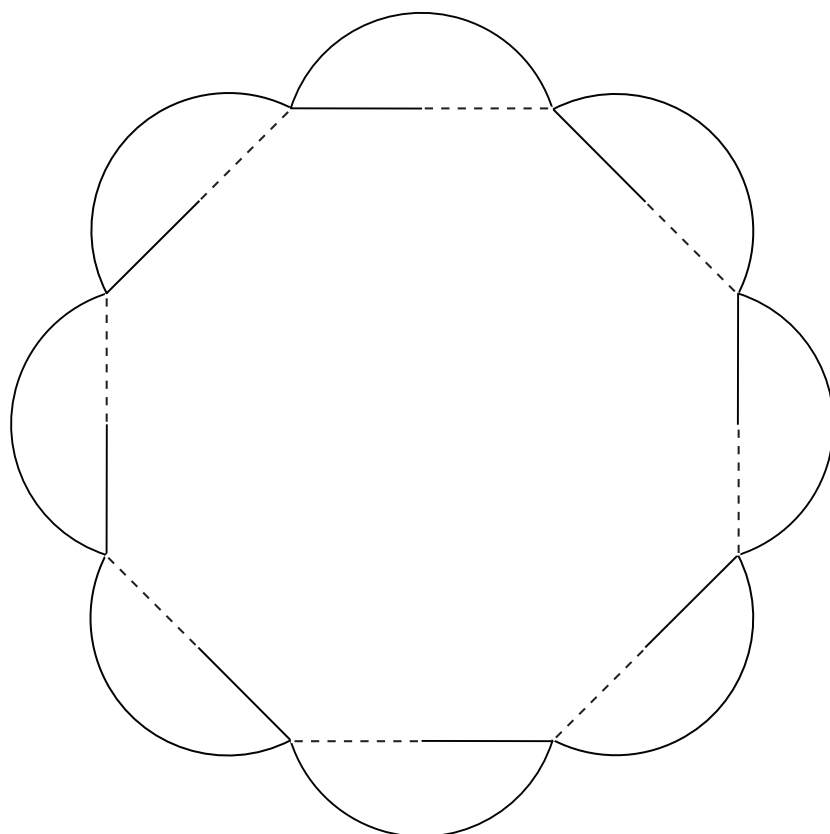
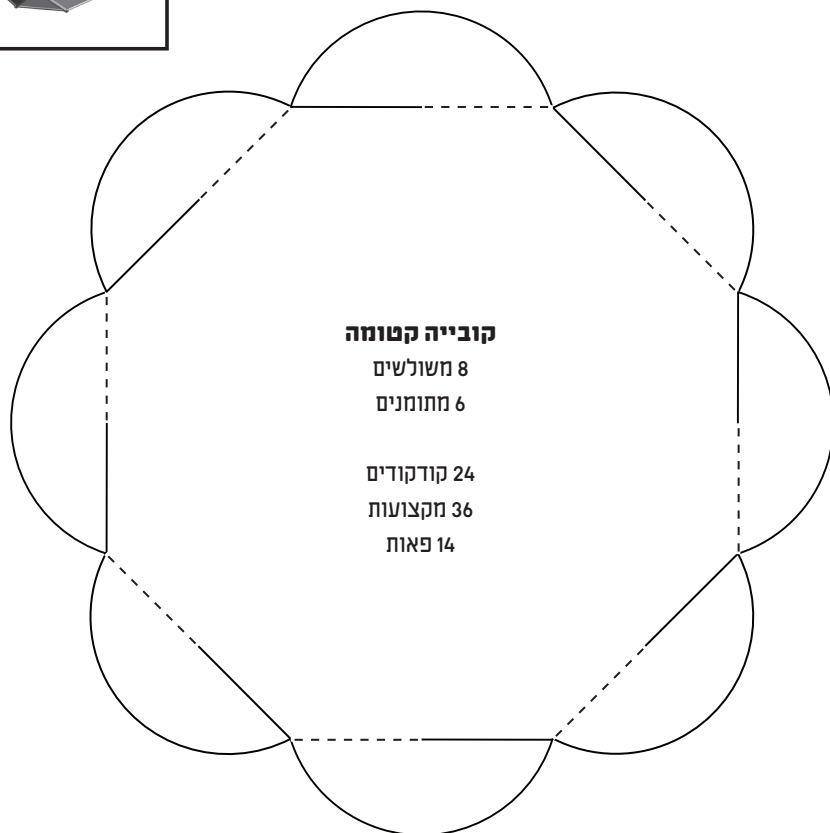
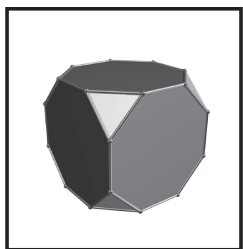


קובייה



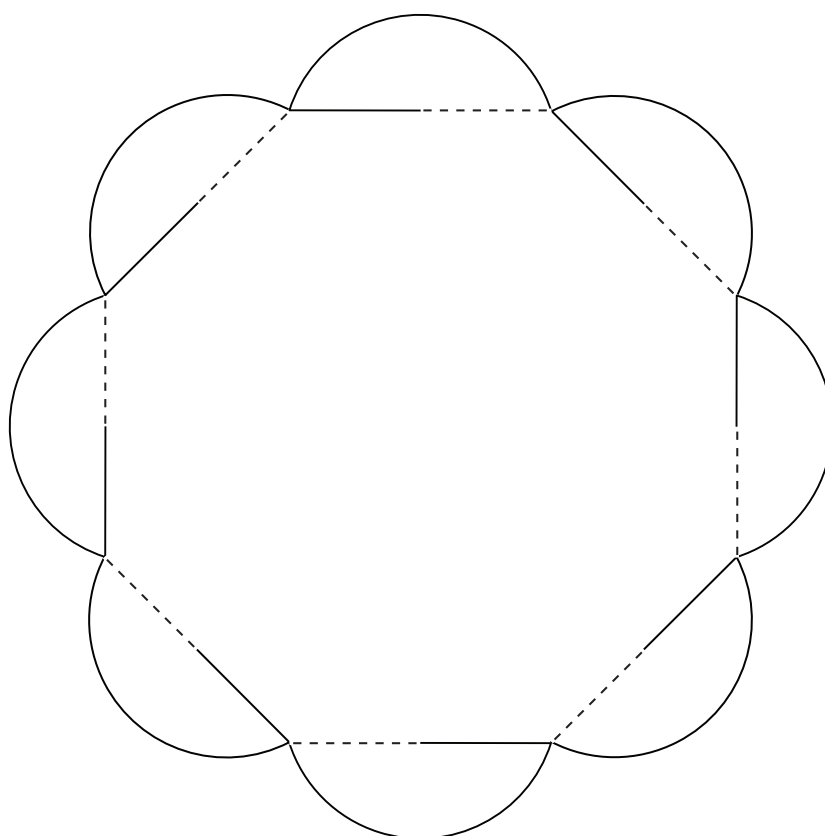
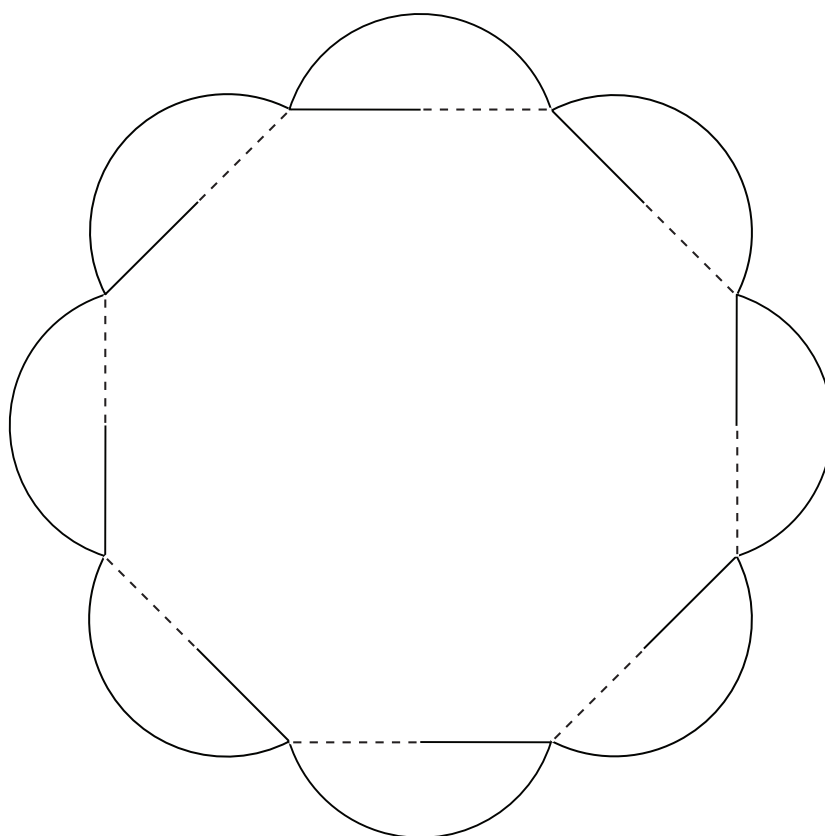
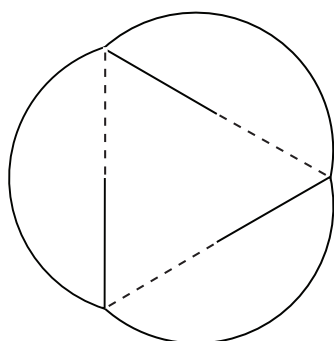
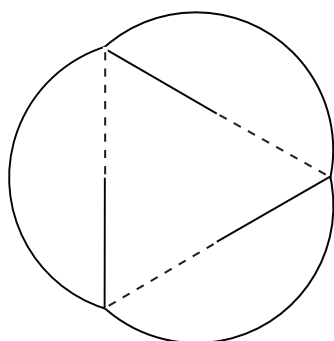
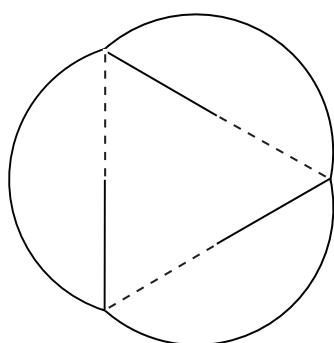
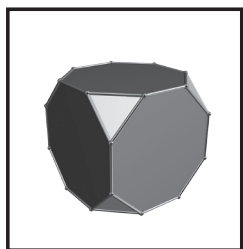


קובייה קטומה 1/3



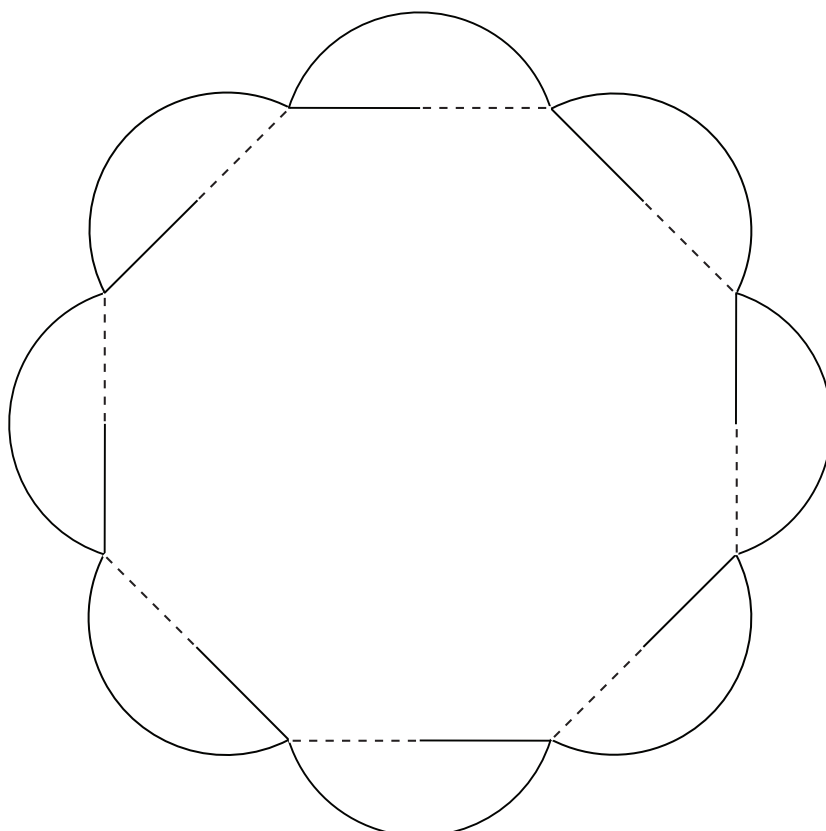
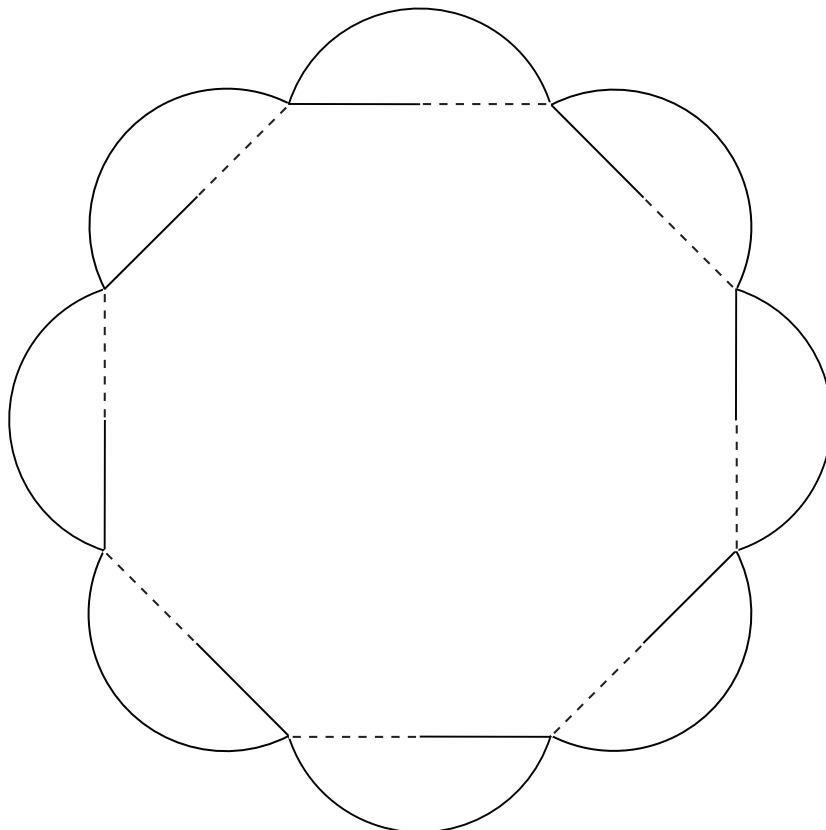
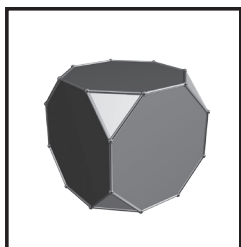


קובייה קטומה 2/3



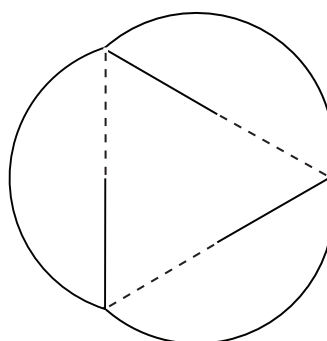
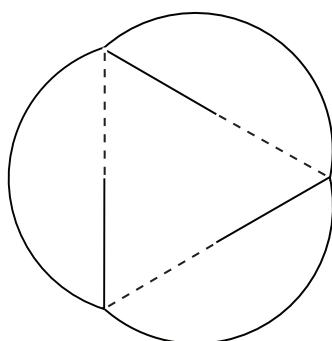
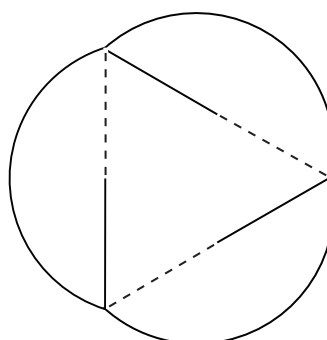
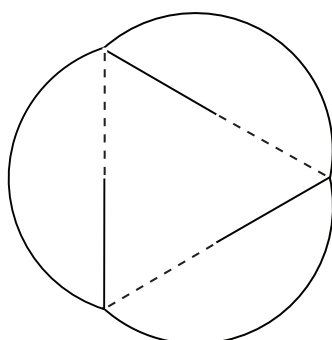
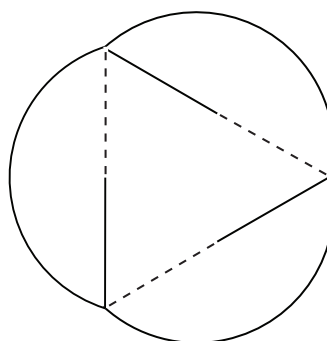
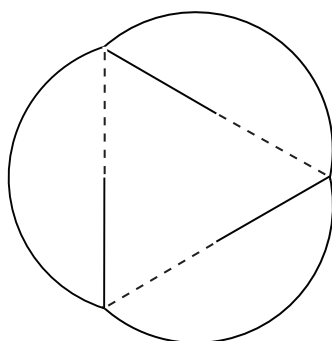
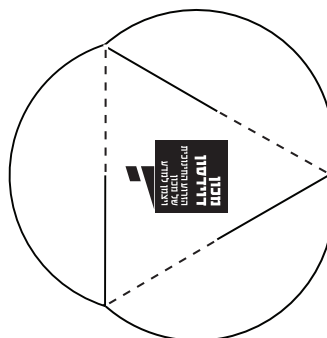
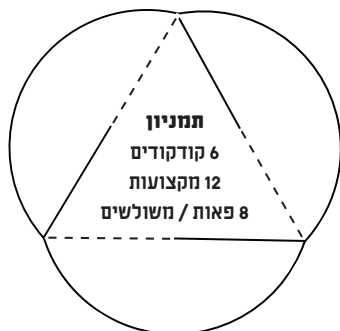
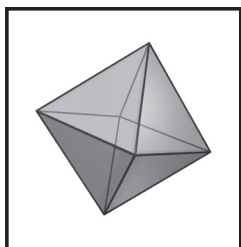


קובייה קטומה 3/3



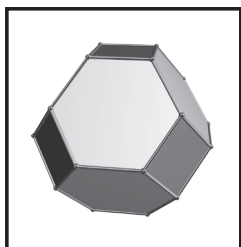


תמניון





תמניון קטום 1/2



מכון
דוידסון
המרכז
של מכון
דוידסון
למדע

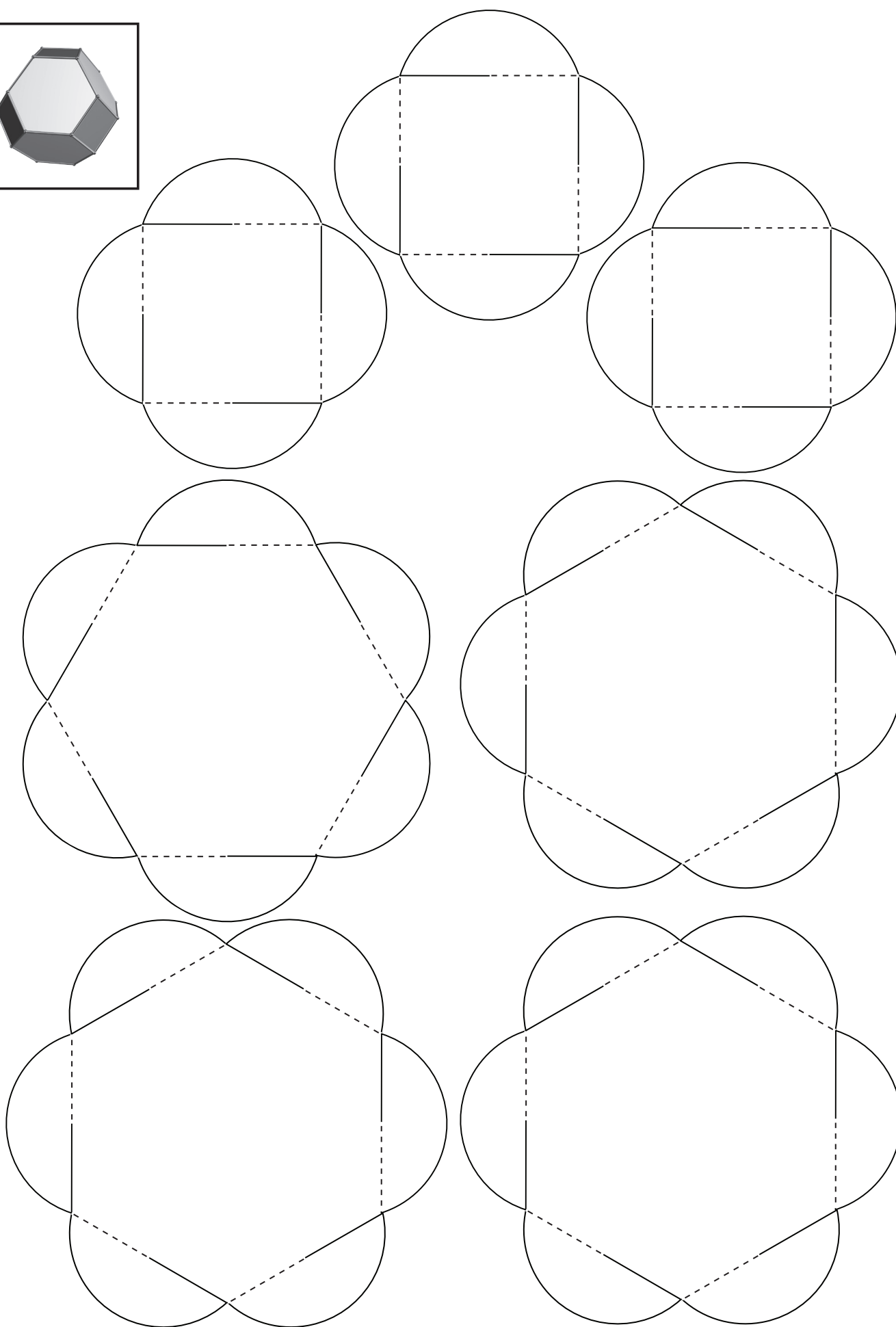
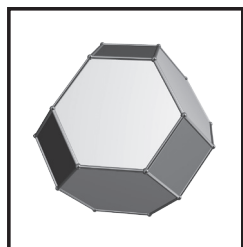
תמניון קטום
6 ריבועים
8 משושים

24 קודקודים
36 מקצועות
14 פאות



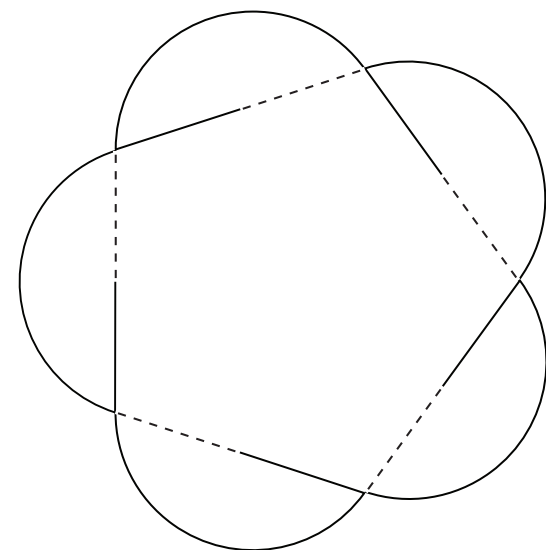
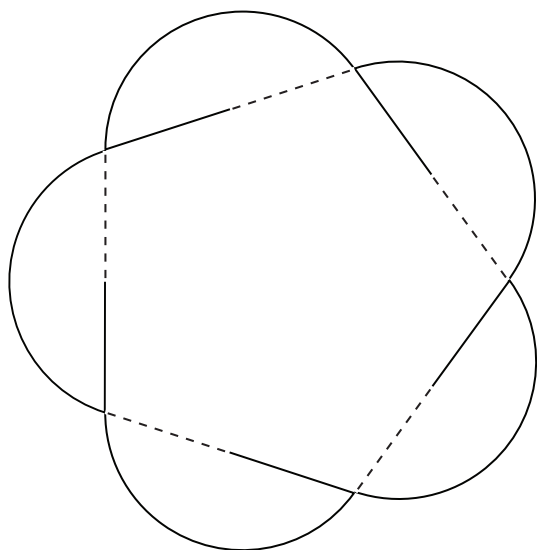
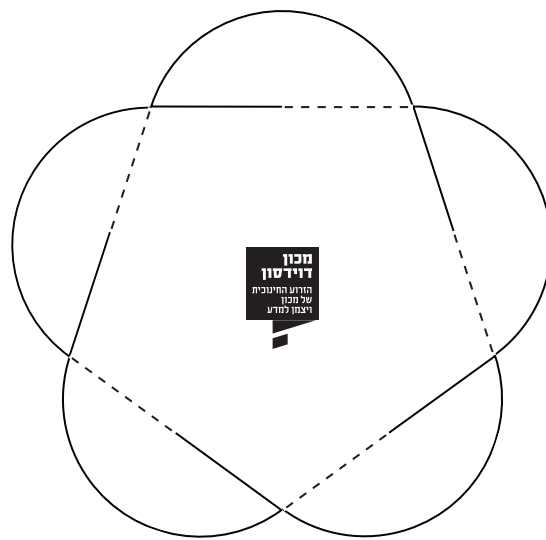
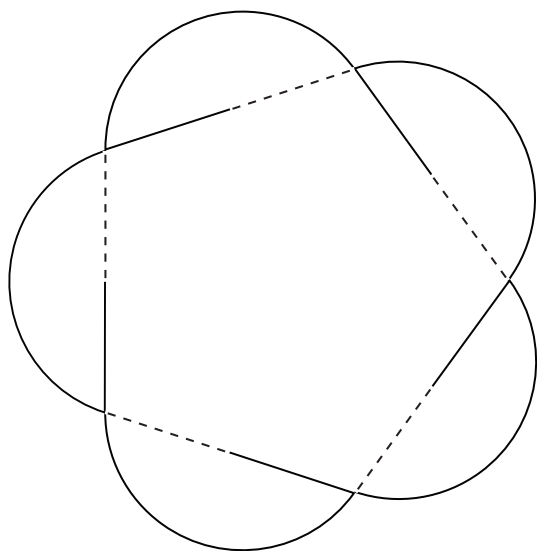
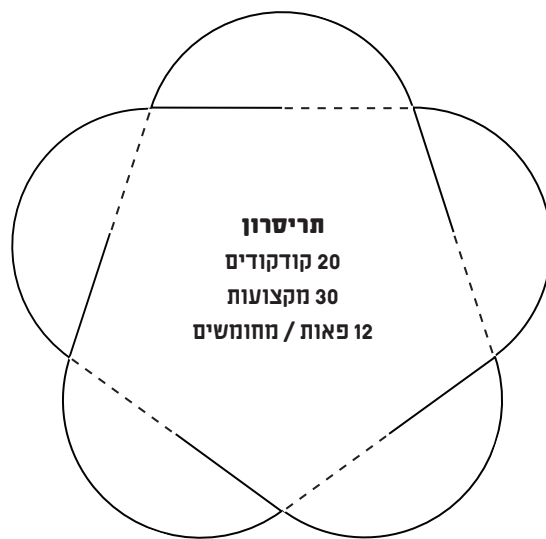
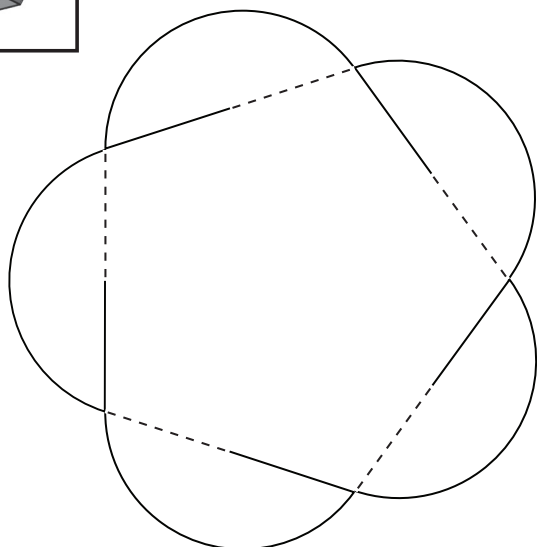
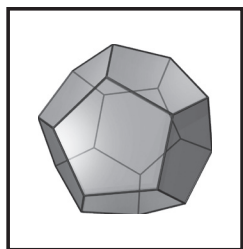


תחניון קטום 2/2



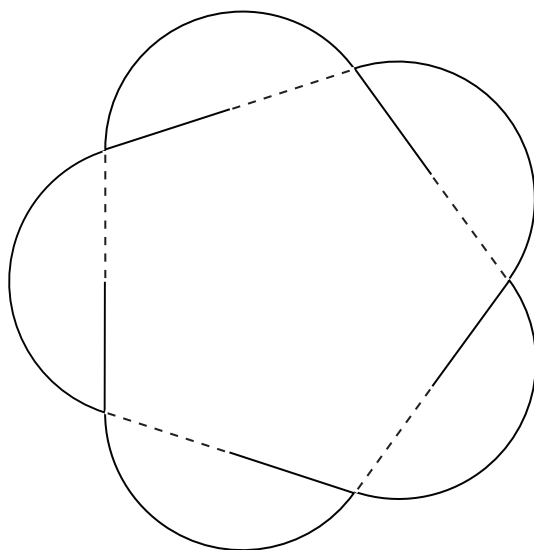
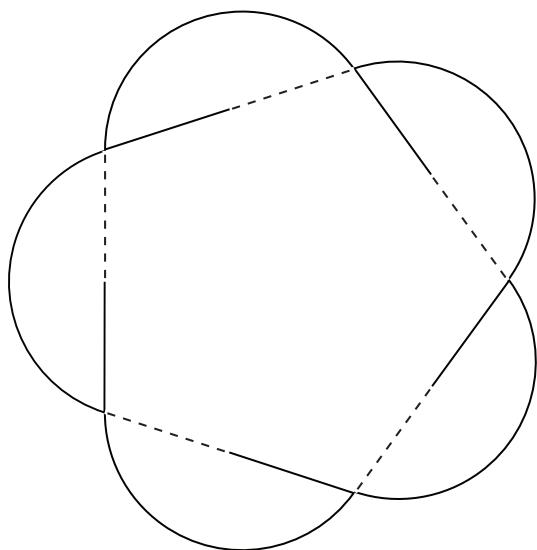
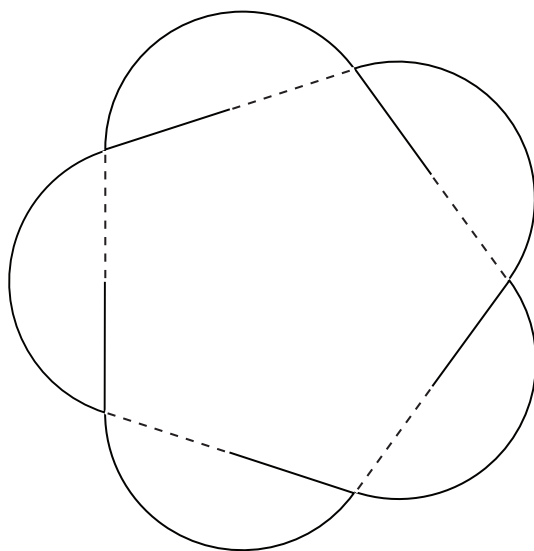
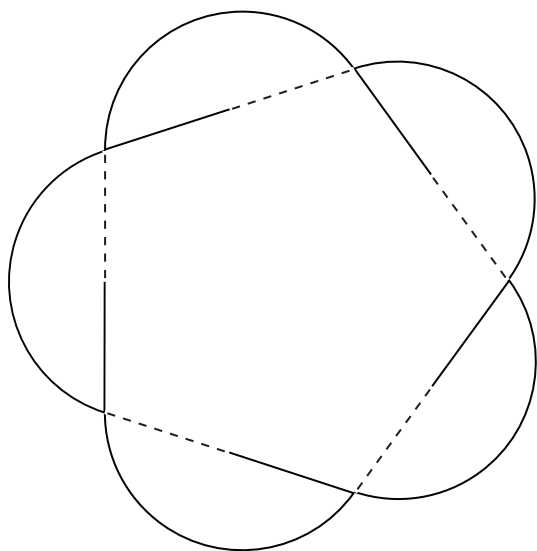
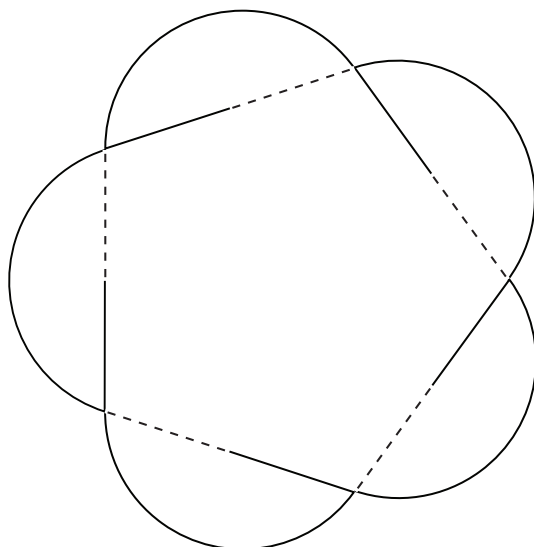
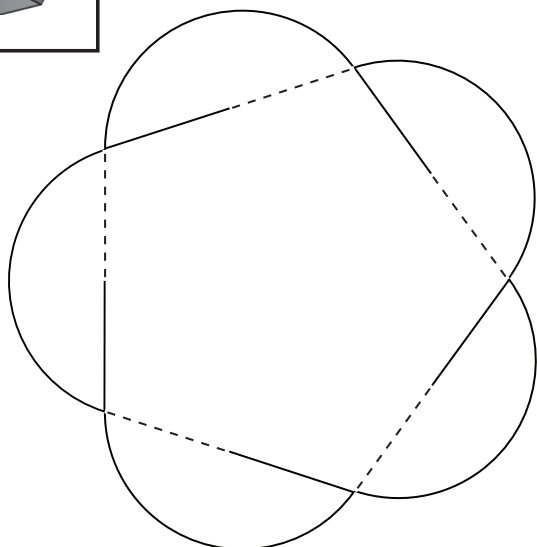
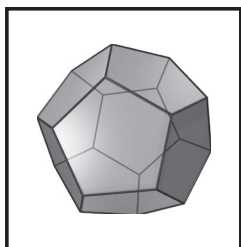


תריסרון 1/2



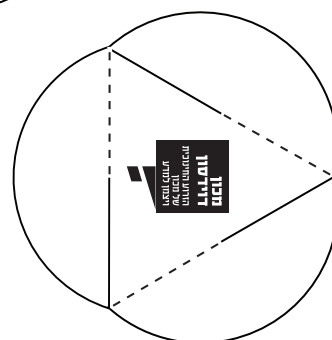
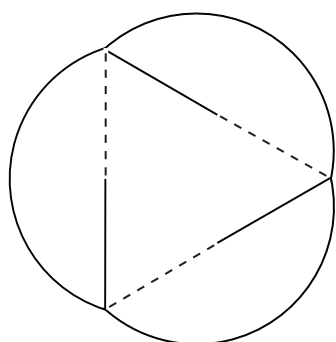
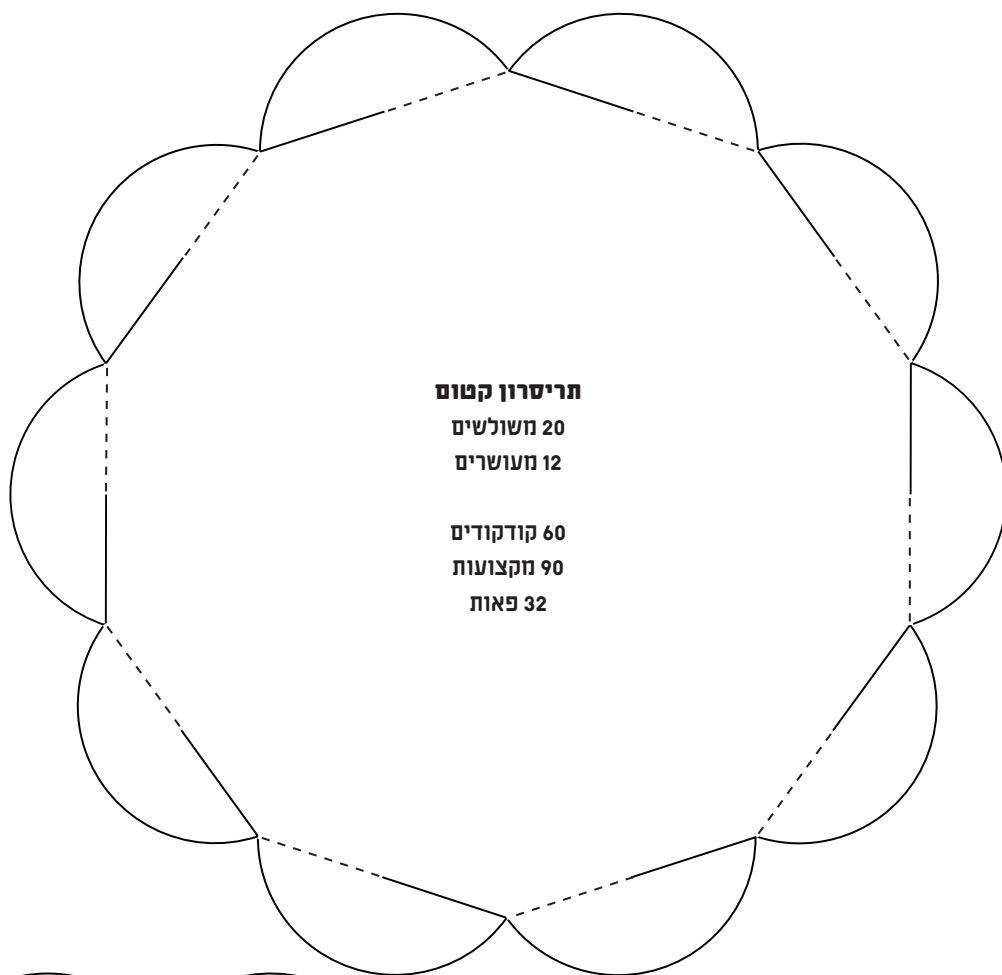
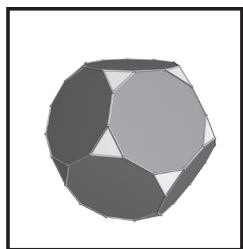


תריסרון 2/2



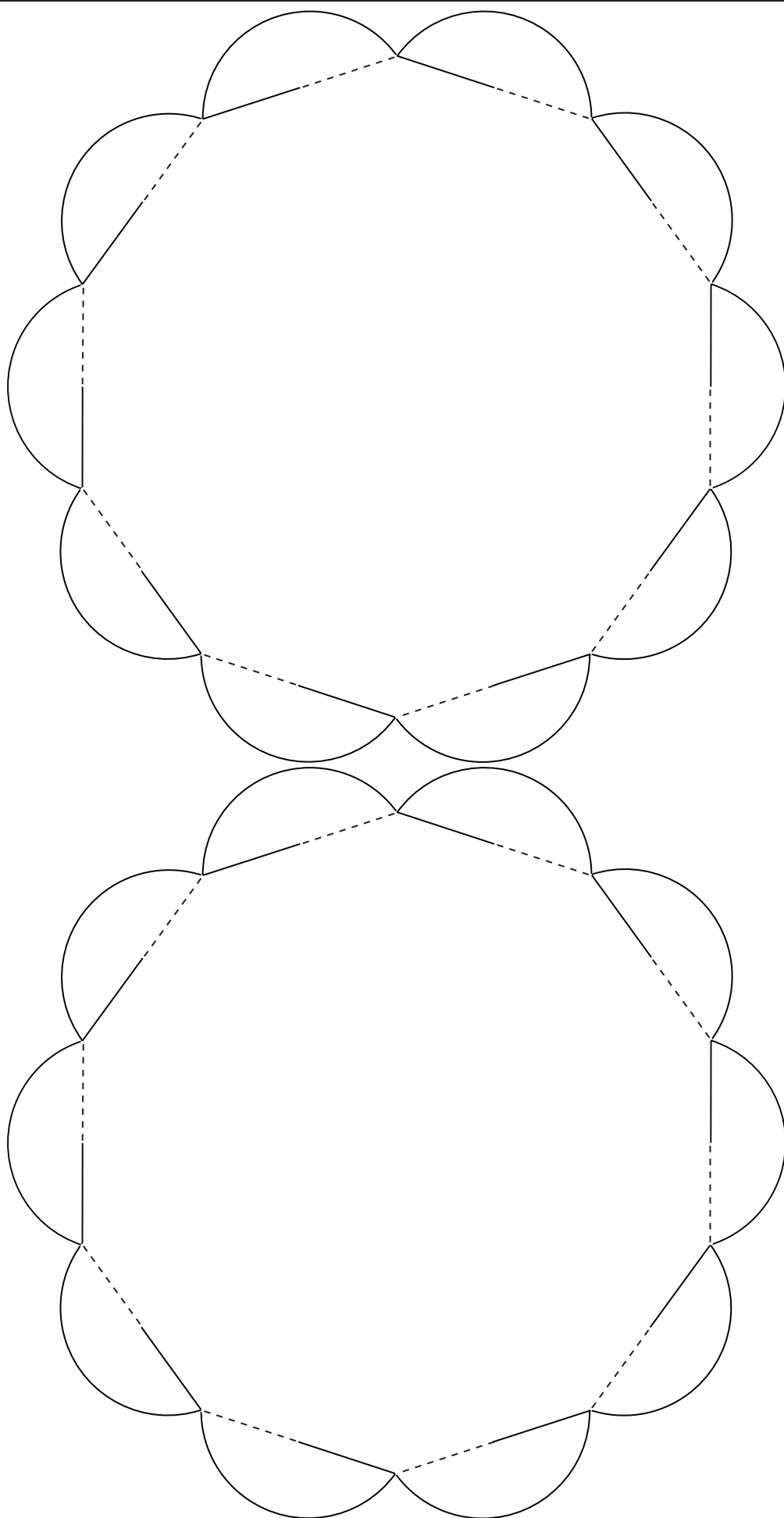
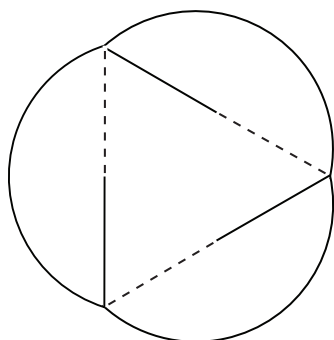
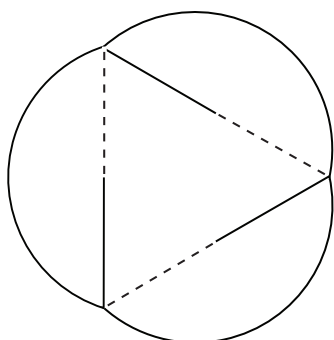
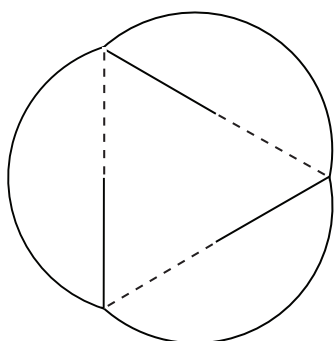
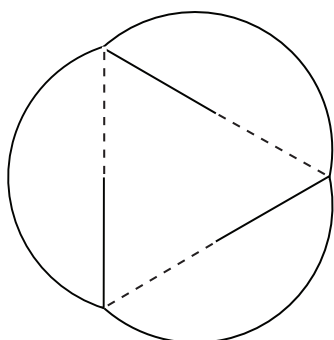
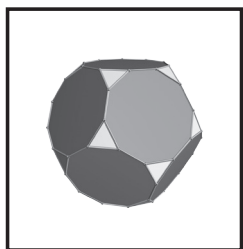


תריסרון קטום 1/6



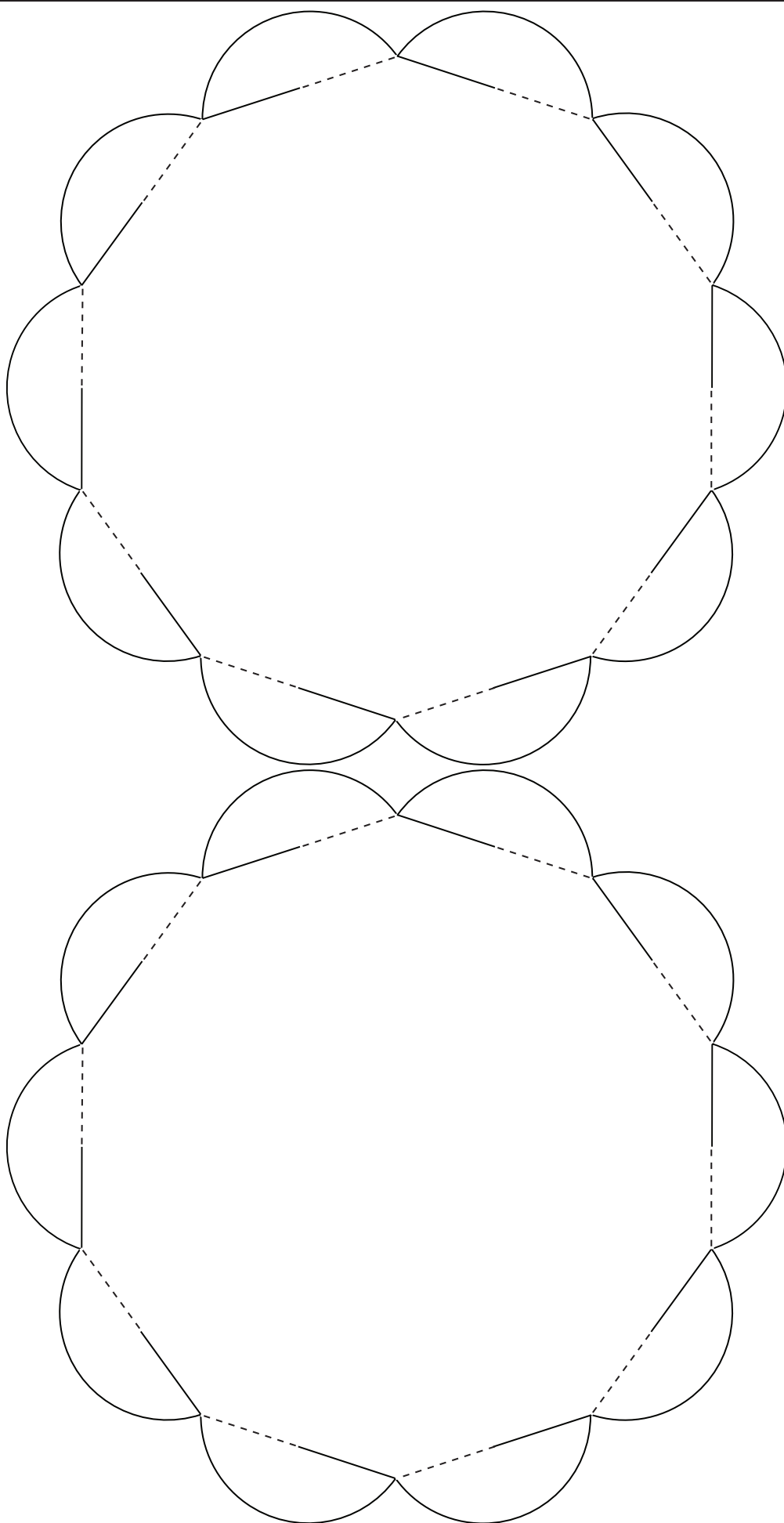
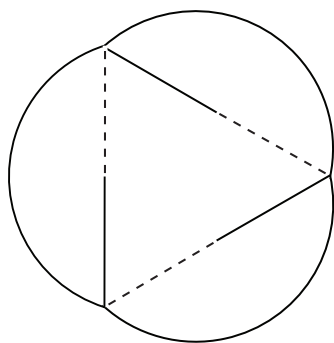
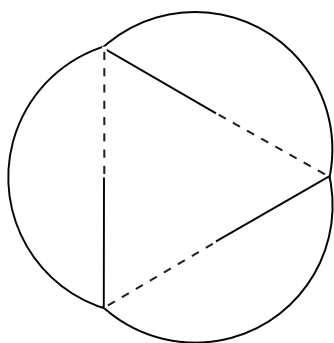
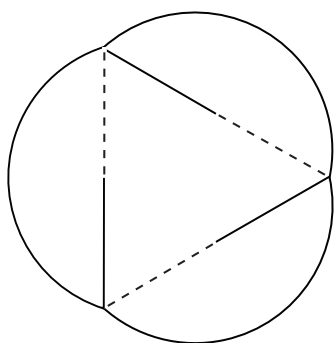
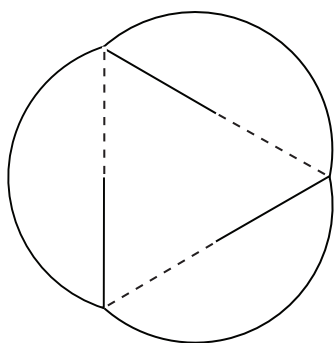
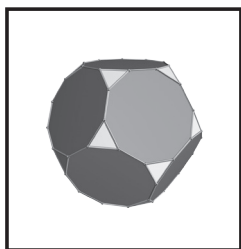


תריסרון קטום 2/6



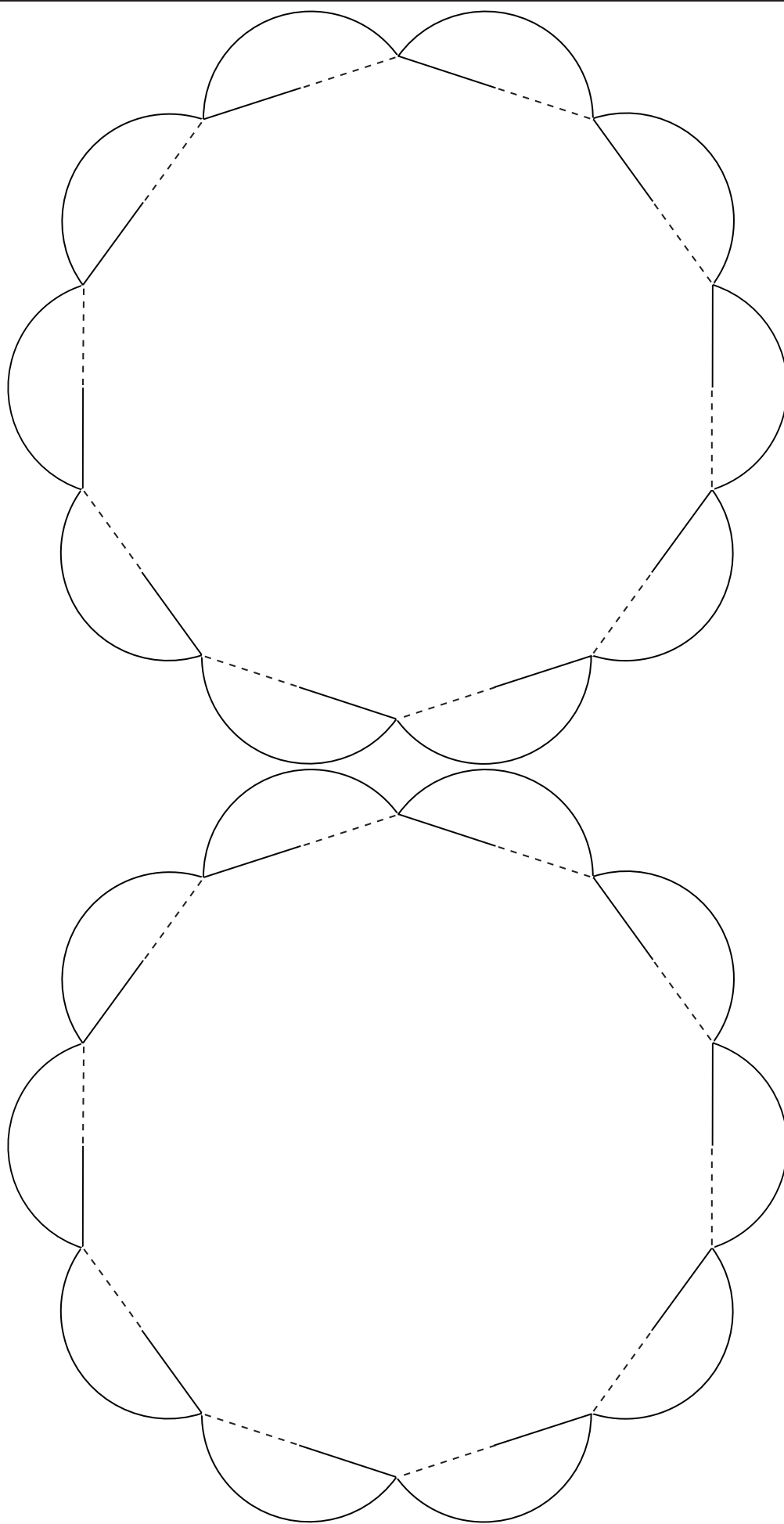
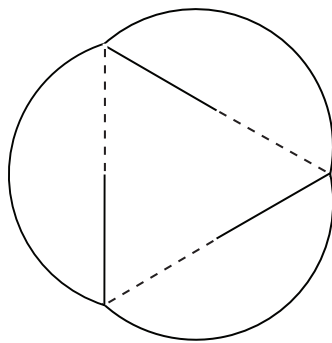
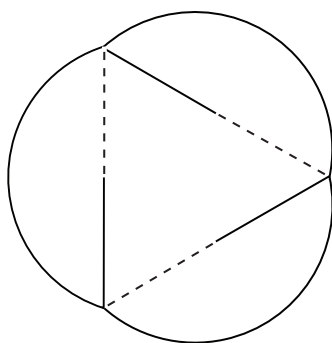
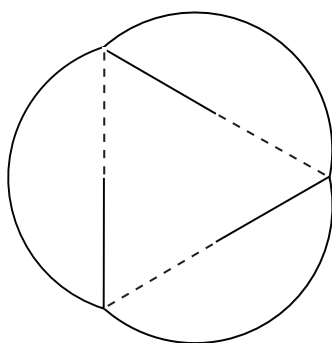
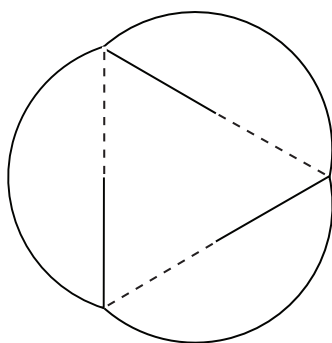
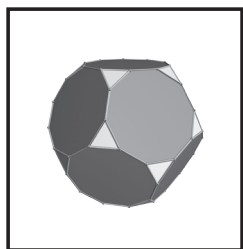


תריסרון קטום 3/6



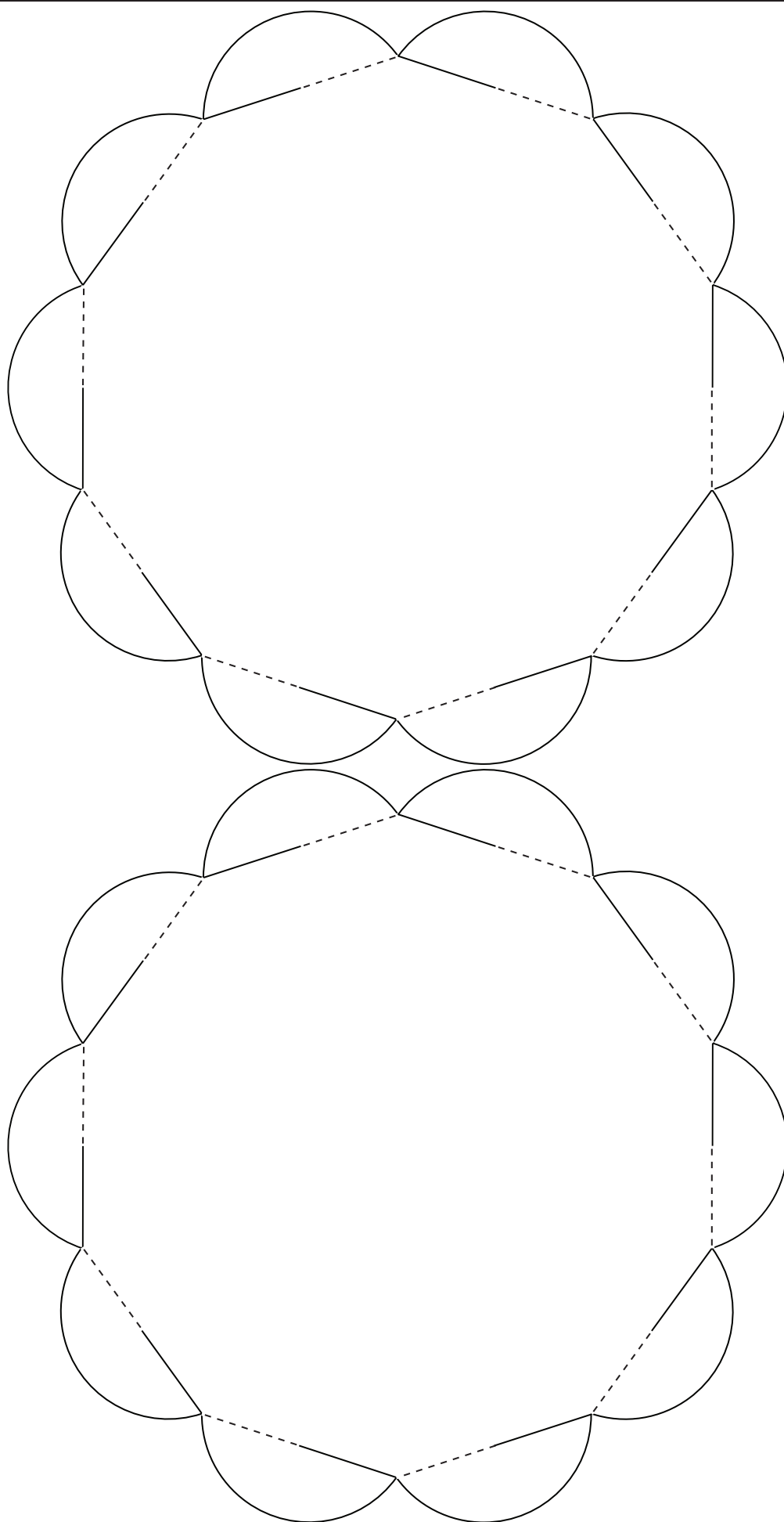
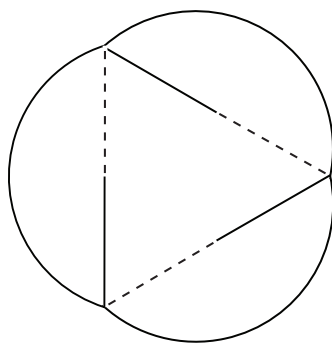
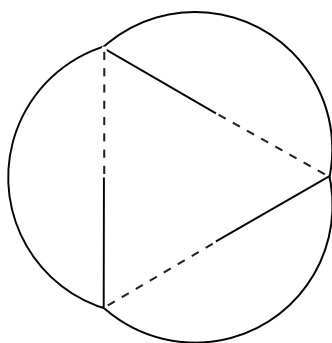
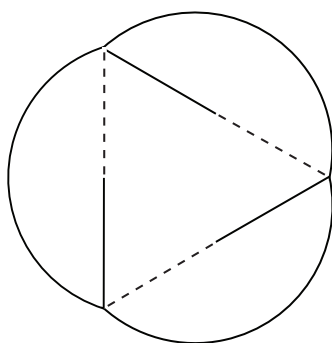
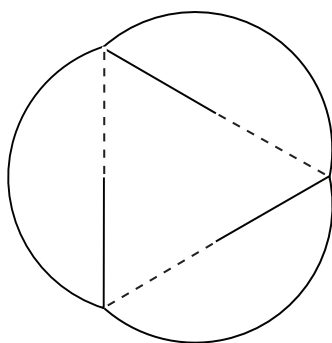
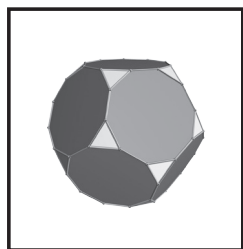


תריסרון קטום 4/6



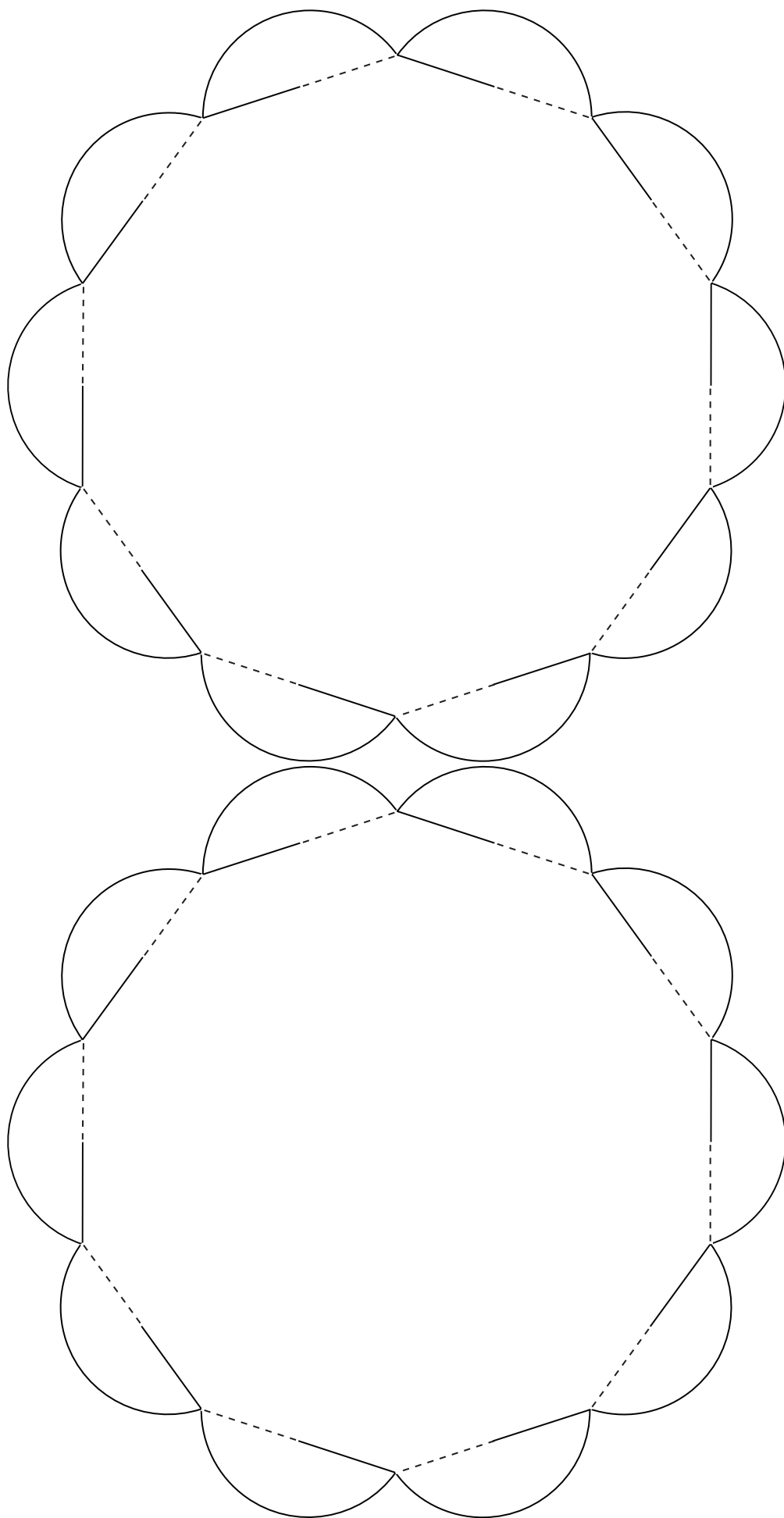
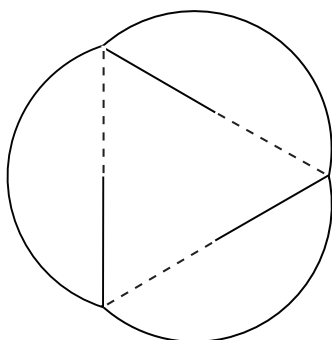
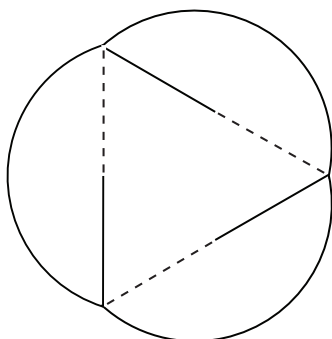
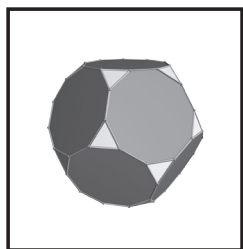


תריסרון קטום 5/6



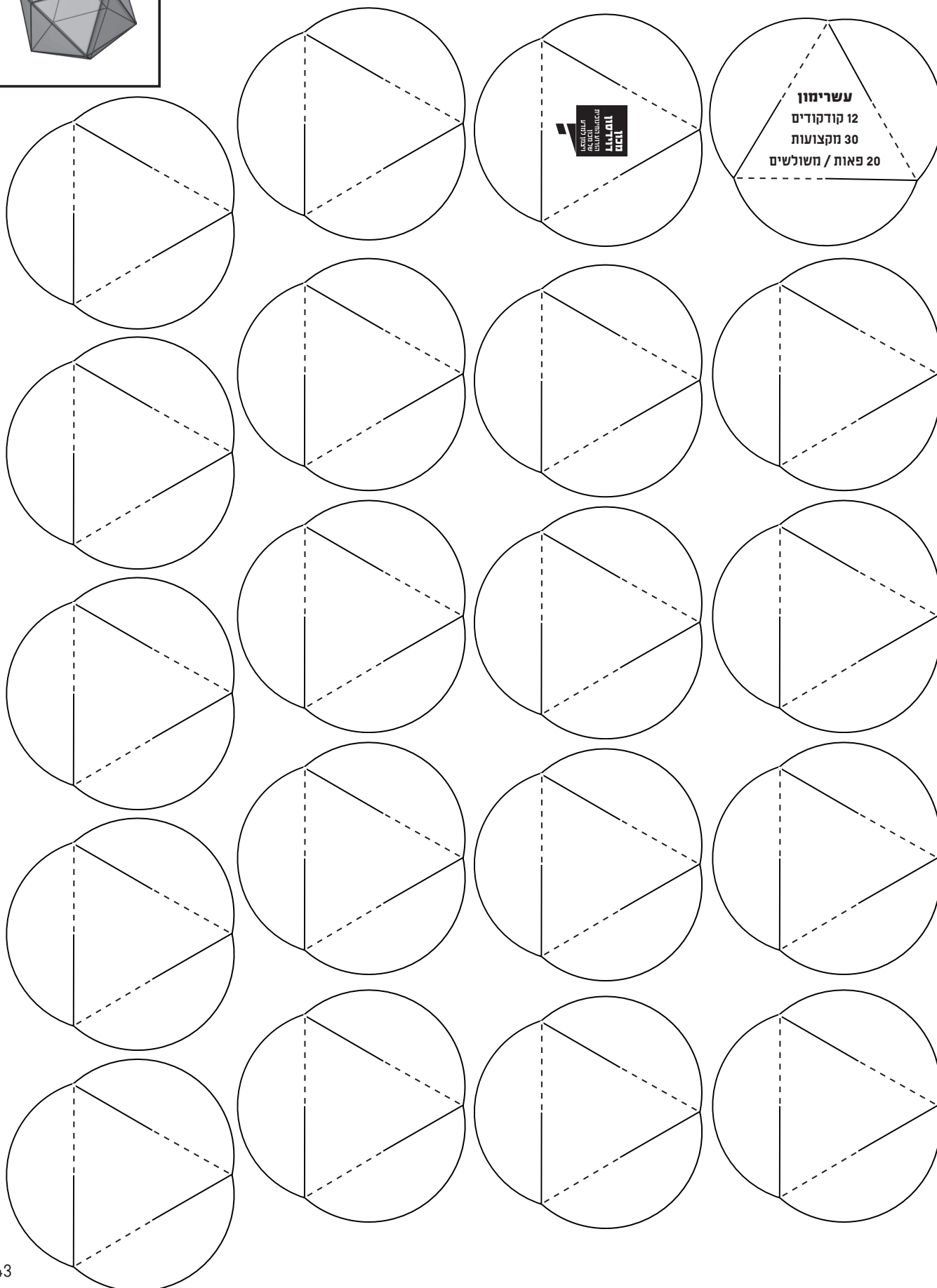
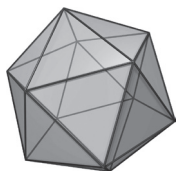


תריסרון קטום 6/6



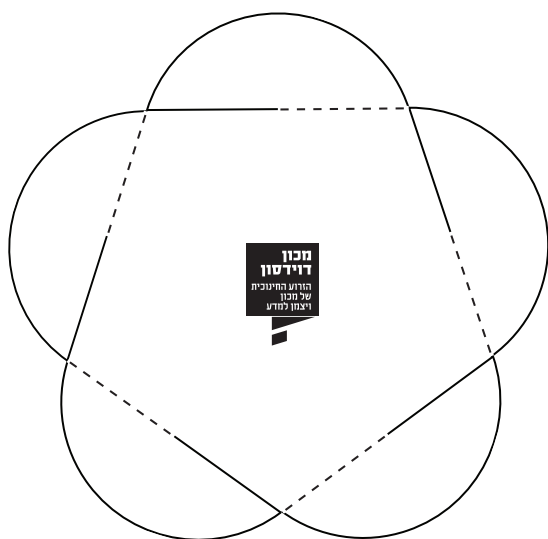
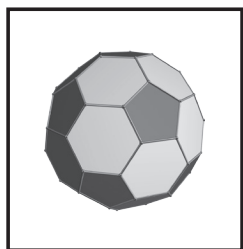


עשרימון

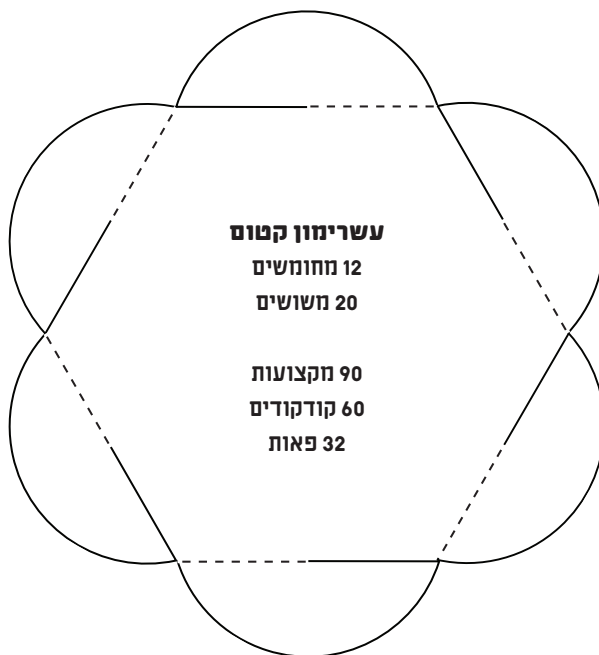
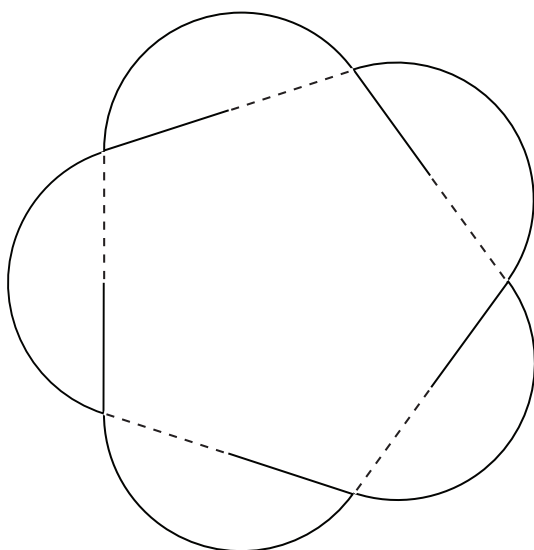




עשרימון קטום 1/6



**מכון
דירטון**
המרכז הדיגיטלי
של מכון
ריצון למדע



עשרימון קטום

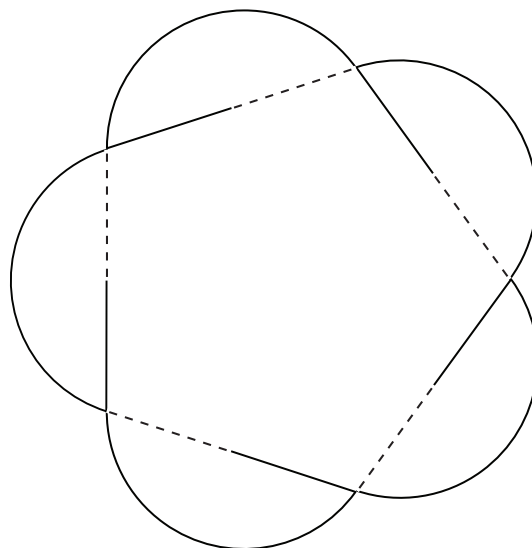
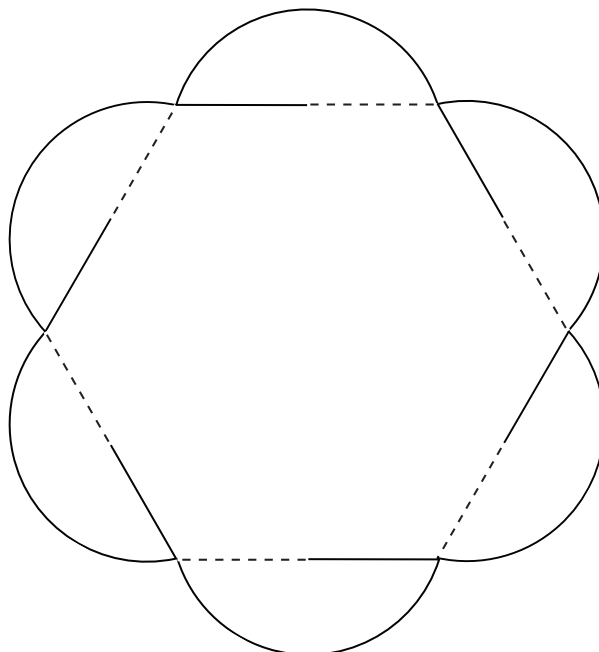
12 מחומשים

20 משושים

90 מקצועות

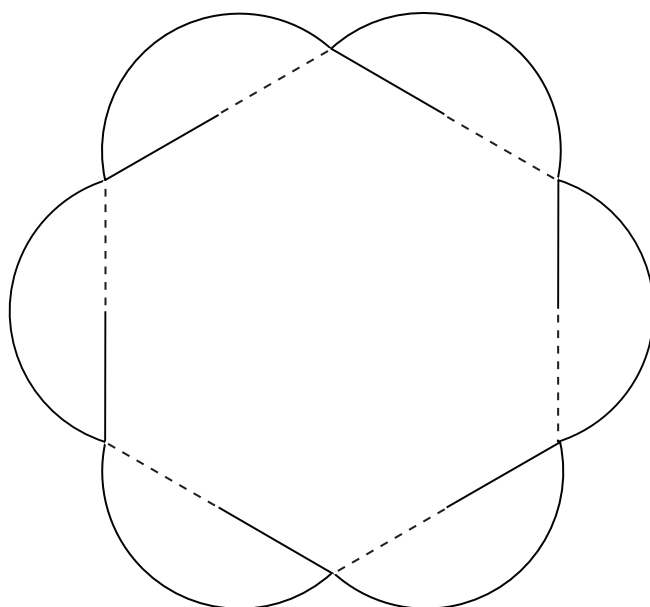
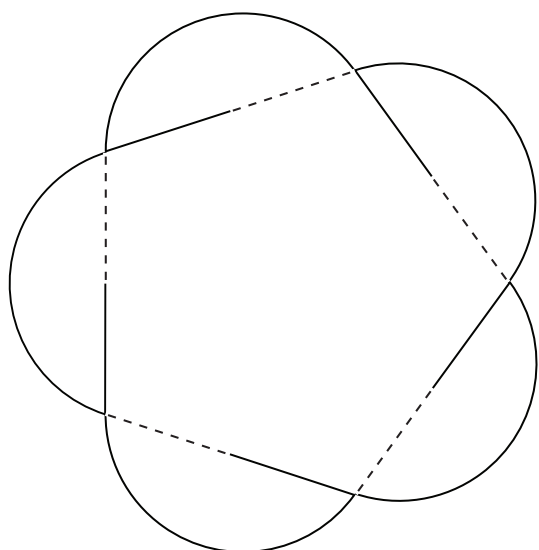
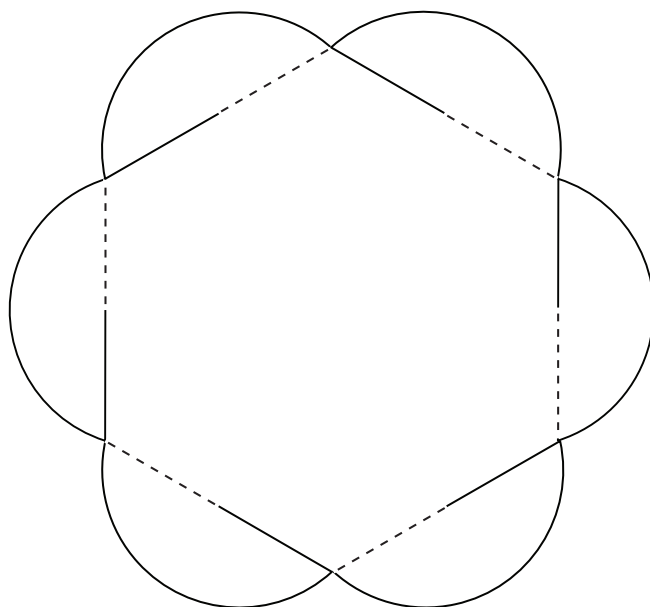
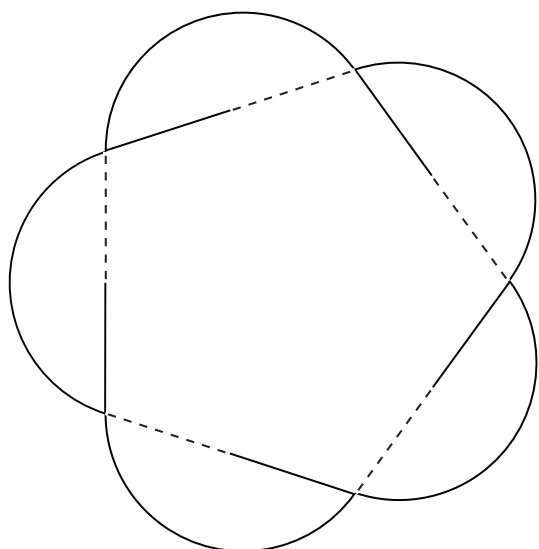
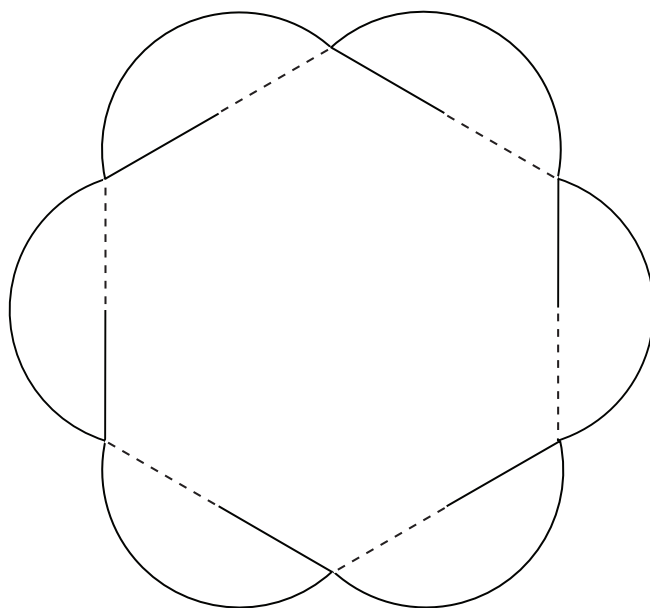
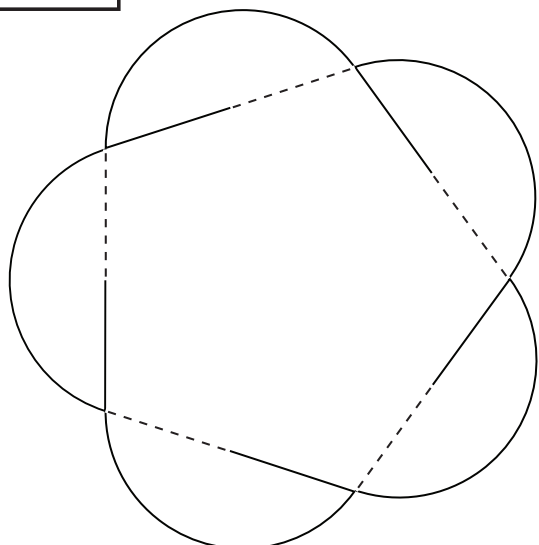
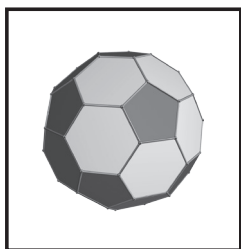
60 קודקודים

32 פאות



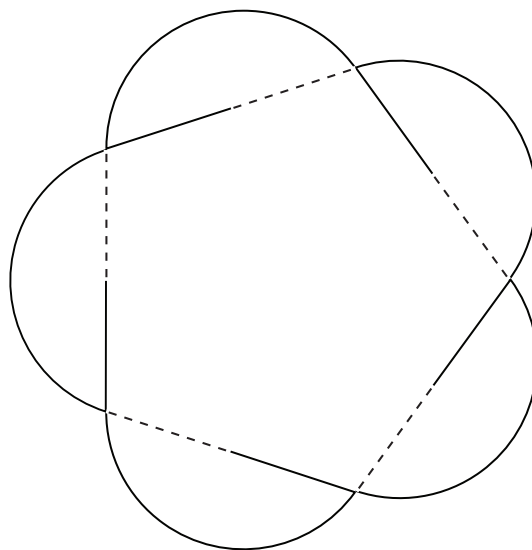
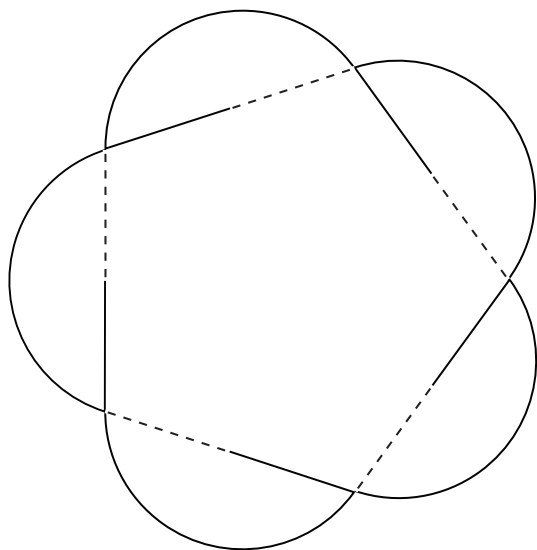
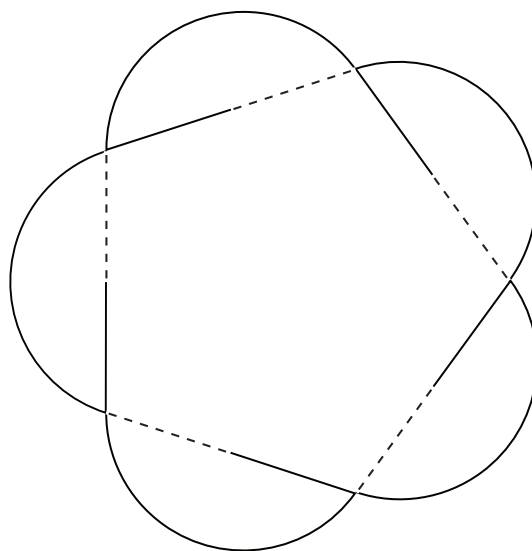
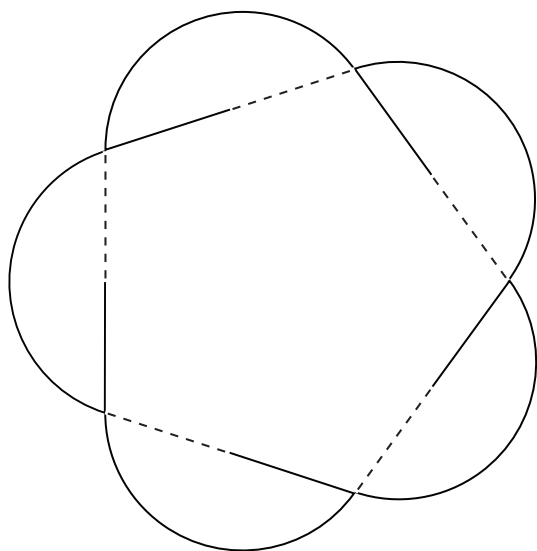
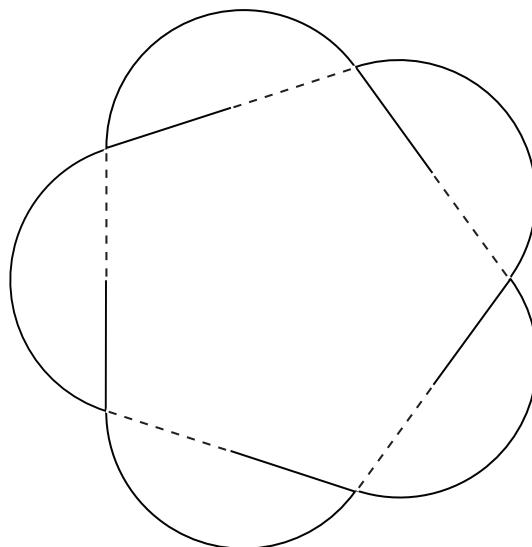
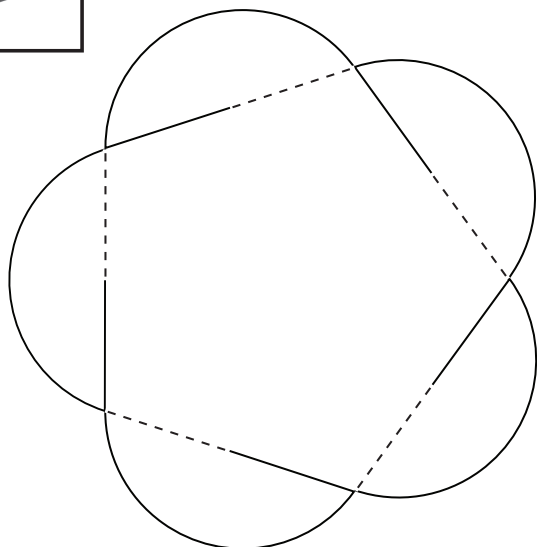
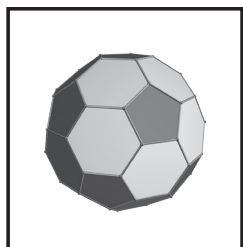


עשרימון קטום 2/6



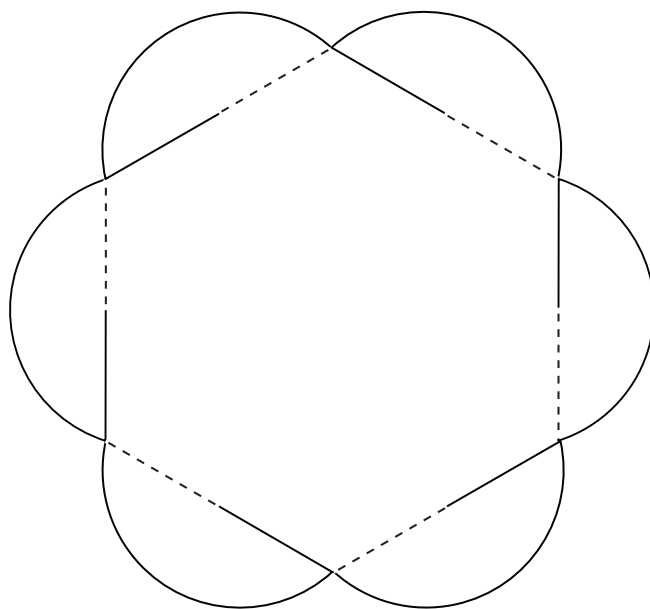
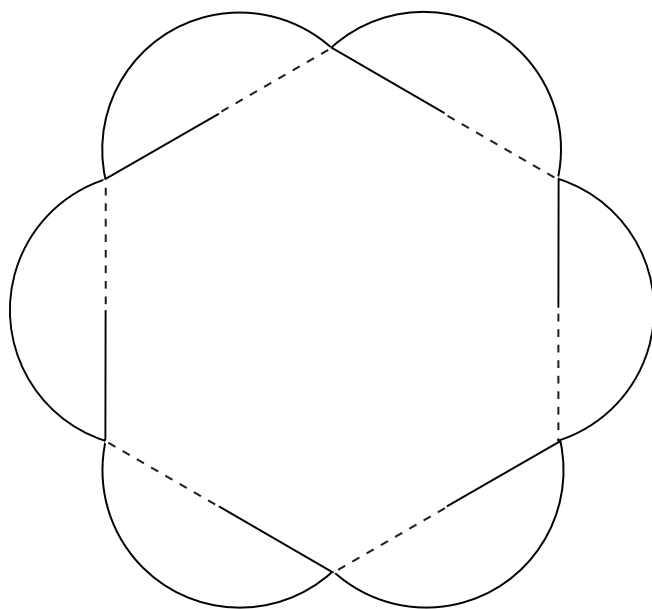
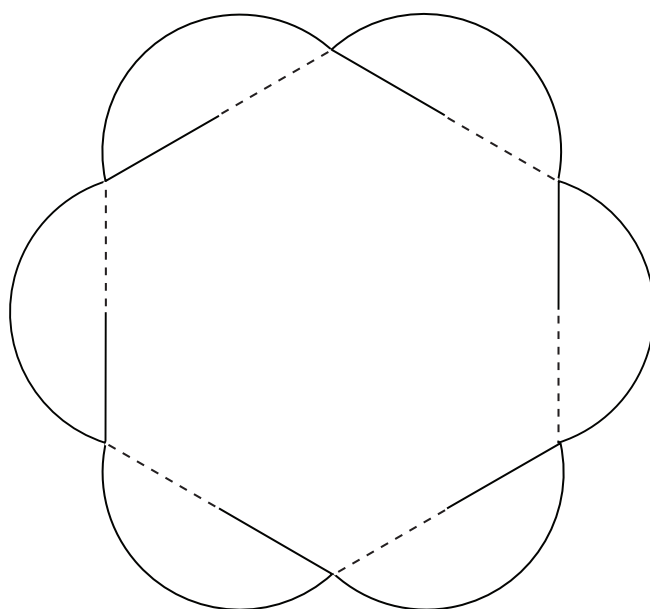
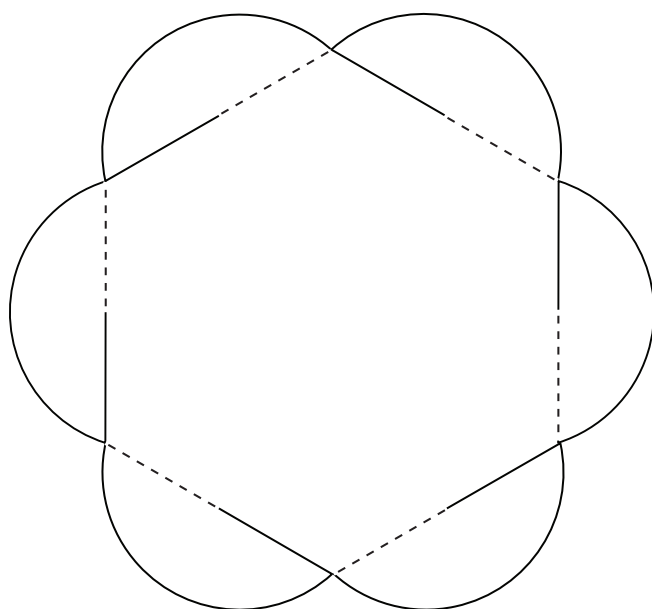
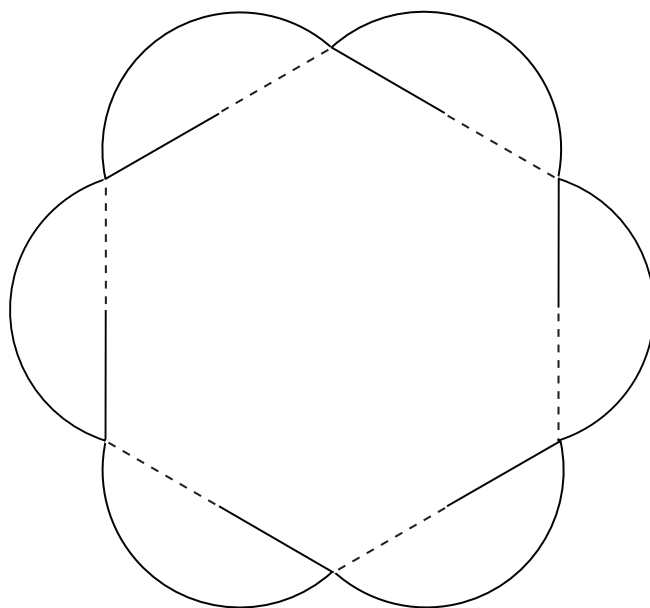
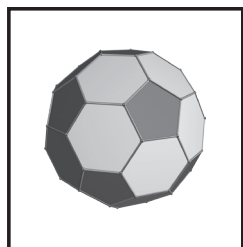


עשרימון קטום 3/6



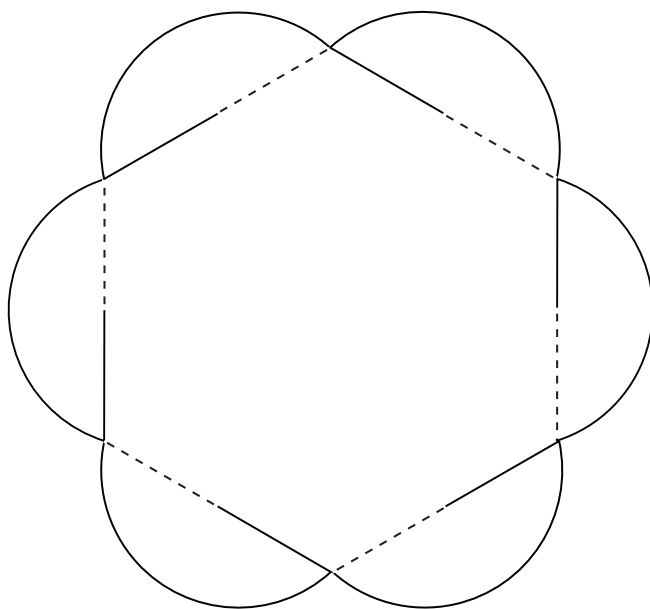
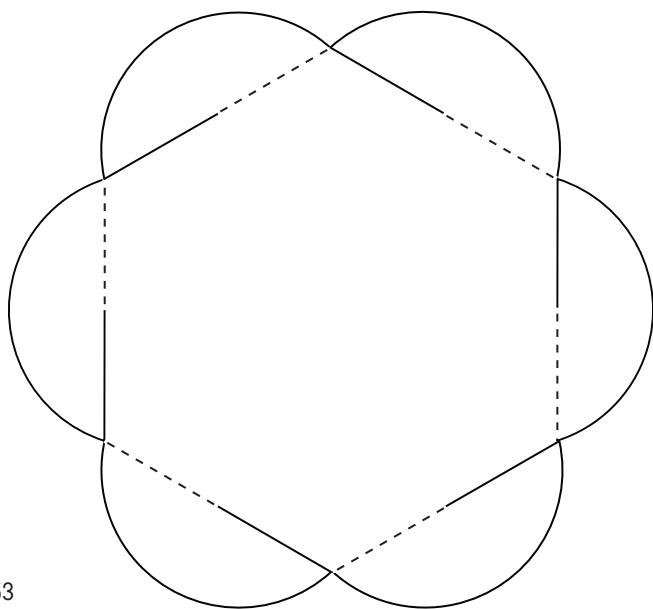
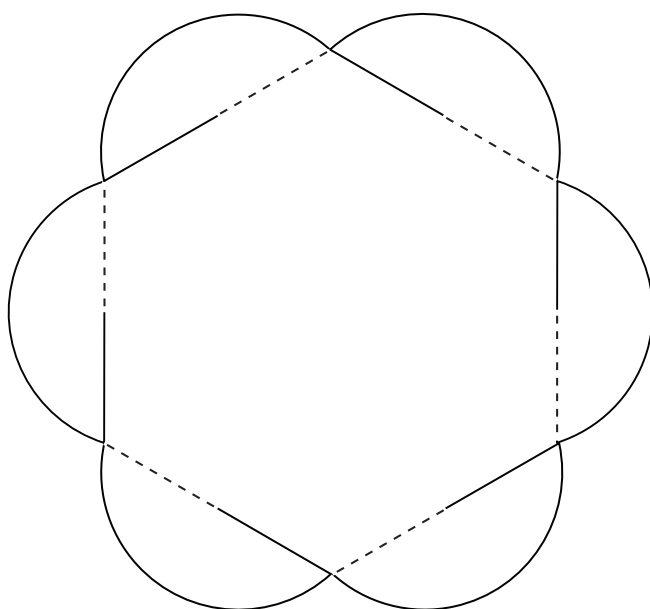
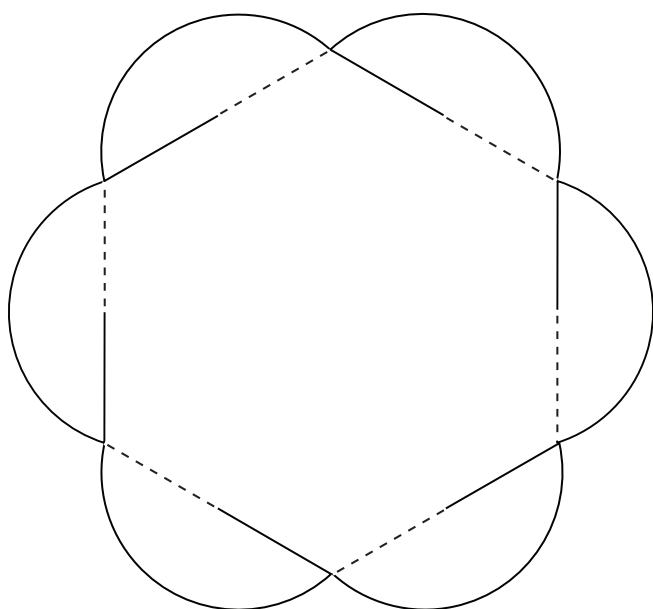
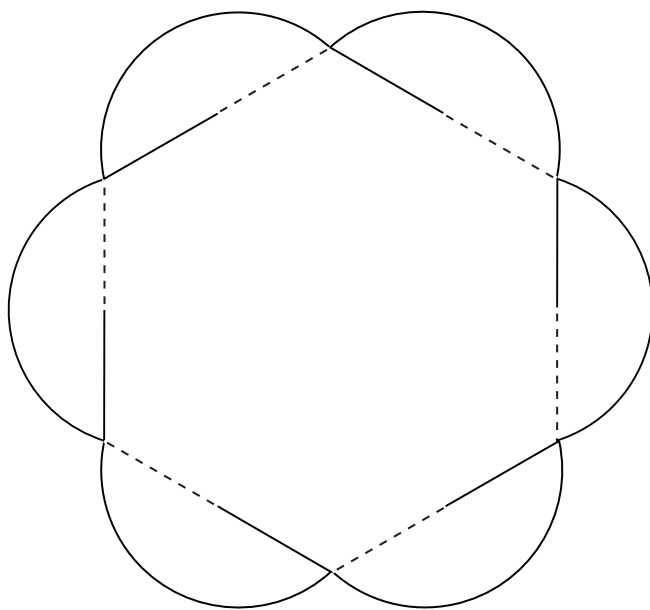
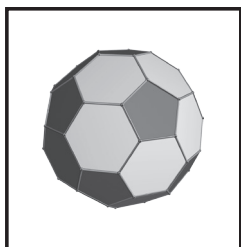


עשרימון קטום 4/6



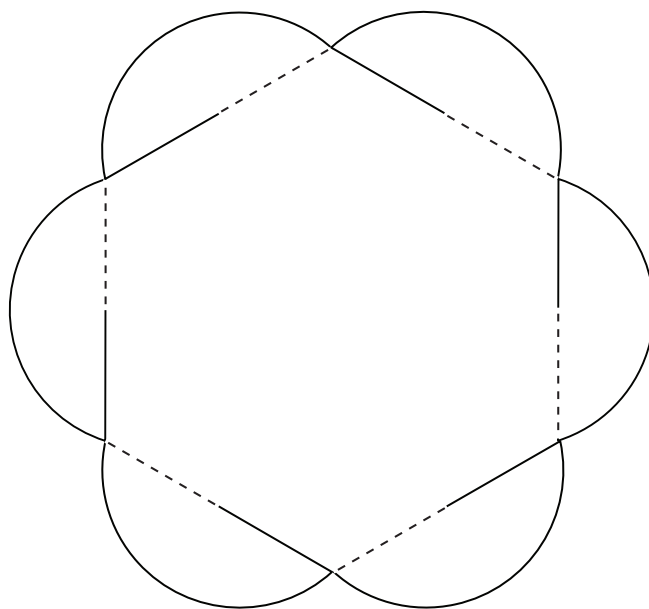
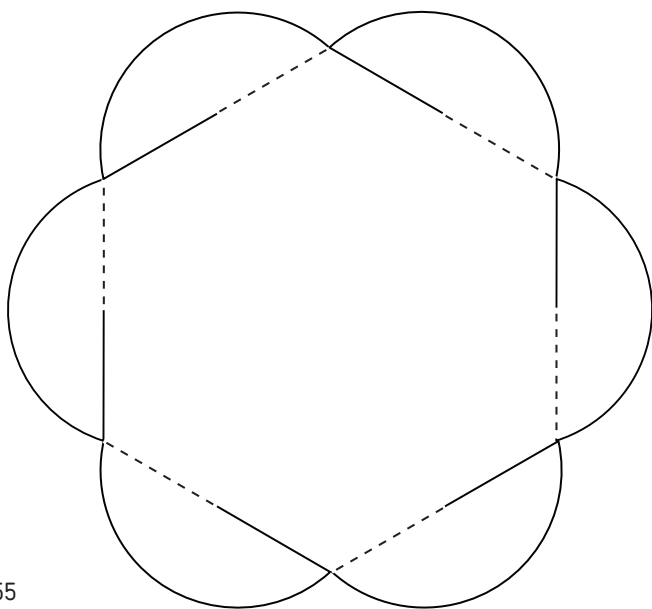
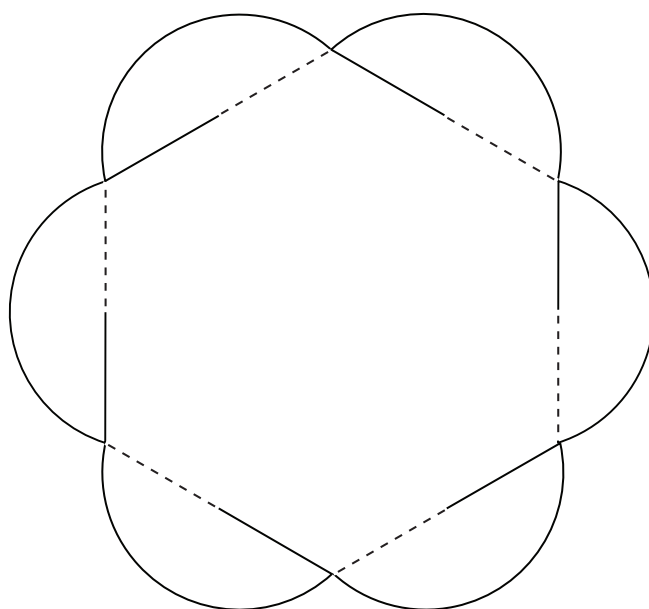
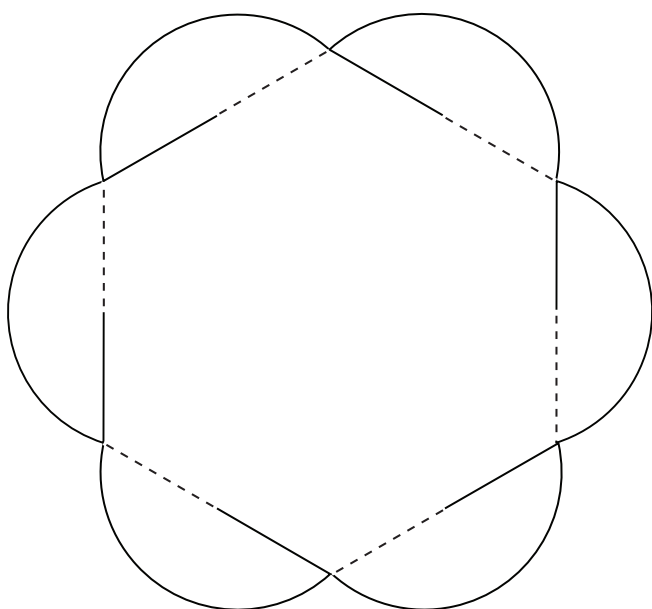
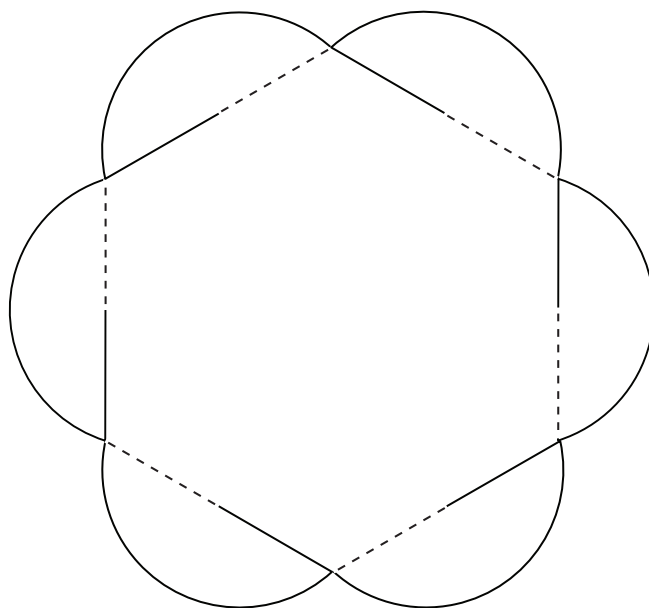
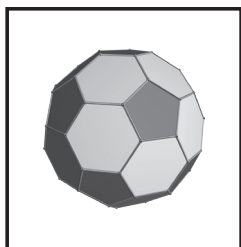


עשרימון קטום 5/6





עשרימון קטום 6/6



תשובות:

(1)

שם הגוף	סה"כ סכום הזוויות סביב קודקוד	מספר הפאות שנפגשות בקודקוד	זווית פנימית	פאה
ארבעון	180°	3	60°	משולש
תמניון	240°	4	60°	משולש
עשרימון	300°	5	60°	משולש
קובייה	270°	3	90°	ריבוע
תריסרון	324°	3	108°	מחומש

(2) הקובייה דואלית לתמניון ולהפך. התריסרון דואלי לעשרימון ולהפך.

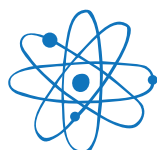
(3) הקובייה היא הגוף האפלטוני היחיד והתמניון הקטום הוא הגוף הארכימדי היחיד שיכולים למלא את המרחב ללא חורים. ראו המחשה בקישור הבא:

world.mathigon.org/resources/Polygons_and_Polyhedra/3D/tess6.png

(4) הכדורגל דומה לעשרימון קטום.



$$E = \frac{F}{q}$$



SO₂



מה מהיר יותר ממחשבה?

מתמטיקה ומדע בהתכתבות אוןליין

תוכניות מקוונות היוצרות קהילה ייחודית של שוחרי מתמטיקה ומדע. חברי הקהילה לומדים תכנים חדשניים ואיכותיים במתמטיקה יצירתית ובמדע עכשווי באתר אינטראקטיבי המותאם ללמידה עצמאית. התוכניות מותאמות לתלמידים מצוינים וסקרנים בכיתות ג'-ט'.

- התוכניות נכתבות בשיתוף עם מתמטיקאים ומדענים מובילים ממכון ויצמן למדע
- סביבת לימודים אינטרנטית בטוחה ומעשירה
- מפגשים וירטואליים, הפעלות, חידות ומשחקים
- מפגש חווייתי בסוף השנה במכון ויצמן למדע

פרטים והרשמה

טלפון: 08-9378300

מייל: davidson@weizmann.ac.il

davidson.weizmann.ac.il/mbm

**מכון
דידסון**

הזרוע החינוכית
של מכון
ויצמן למדע

מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

