



המרת אור שמש לדלק באמצעות מערכת מיניאטורית ייחודית

Lilac Amirav*

הפקולטה לכימיה ע"ש שוליק, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, חיפה, ישראל

סוקרת צעירה

ANNA

גיל: 13



הצורך הגובר של העולם באנרגיה, ביחד עם התוצאות המטרידות של שריפת דלקי מאובנים (כמו שמן, פחם וגז טבעי) בתחנות כוח וברכבים, הפוכים את החיפוש אחרי מקורות דלק חלופיים לחיוני עבור עתיד כדור הארץ. פירוק מים למימן וחמצן באמצעות אנרגיית שמש, הוא מקור אפשרי לדלק נקי ומתחדש. במאמר זה אתאר ואסביר כיצד ניתן להשיג זאת באמצעות תהליך שנקרא פוטוקטליזה, וכיצד אנחנו יכולים להגיע להמרה יעילה של אור למימן באמצעות מערכת מיניאטורית ייחודית.

בעיית האנרגיה

שלינו בדיוק חגג יומולדת 9. כשהוא נולד, בדצמבר 2010, היו 6.9 מיליארד (מיליארד = 1,000,000,000) אנשים בעולם. כיום ישנם 7.8 מיליארד. לפי התחזיות, עד לזמן שבו שליו יהפוך לאבא, הילדים שלו יחלקו את העולם עם מעל ל-9.6 מיליארד אנשים. כשאוכלוסיית העולם גדלה, כך גדל גם הצורך שלנו באנרגיה.

האם אי פעם עצרתם לחשוב בכמה אנרגיה אתם משתמשים כל יום? אנחנו משתמשים באנרגיה בזמן צפייה בטלוויזיה, כשאנחנו מאירים את החדרים שלנו בלילה, כשאנחנו מחממים את הבתים שלנו בחורף הקר, ואפילו כשאנחנו נוהגים במכוניות שלנו.

אם כן, בכמה אנרגיה אנחנו משתמשים? האנרגיה הכוללת שהציוויליזציה האנושית שלנו משתמשת בה גדלה מסביבות טרהוואט אחד ב-1890 ל-19.4 טרה-וואט בשנה שעברה [1]. לשם הבהירות, 1 טרה-וואט (TW) הוא טריליון (10^{12}) וואט, והוא שקול ל-5 מיליארד חביות שמן, או מיליארד טונות של פחם! לפי התחזית, עד שנת 2040 צריכת האנרגיה העולמית תגדל בעוד 48%. זה יגרום לפער של 10 טרה-וואט בין כמות האנרגיה שאנחנו מסוגלים לייצר כיום בכל שנה לבין כמות האנרגיה שאנחנו מצפים להשתמש בה בעוד 20-30 שנים מעכשיו. כיצד נוכל לגשר על הפער הזה? הבעיה הזאת נעשית אפילו יותר מאתגרת מאחר שמרבית האנרגיה שאנחנו משתמשים בה מגיעה ממקורות שהולכים ונגמרים, כמו למשל נפט (שתורם 33% מהאנרגיה העולמית), פחם (30%), וגז טבעי (24%), שלעיתים קרובות נקראים דלקי מאובנים. אנחנו מְקְלִים את המשאבים האלה, מאחר שהם מיוצרים על-ידי הטבע בקצב הרבה יותר איטי מהקצב שבו אנחנו משתמשים בהם. לדוגמה, מרבית ממאגרי הנפט שקיימים כיום נוצרו לפני 250 מיליון שנים, מצמחים זעירים וחיות שנקראים אצות ופלנקטון. פלנקטון ואצות מתים ששקעו לקרקעית האוקיינוס והתערבבו עם חול ועם משקעים אחרים, בסביבה ללא חמצן. כך נוצר בוץ עשיר בחומר אורגני, שנקבר וכוסה על-ידי עוד משקעים לאורך שנים רבות. וכתוצאה מלחץ וטמפרטורה מוגברים, הבוץ הזה נהפך בסופו של דבר לנפט.

עלינו להתכונן לדלדול הבלתי נמנע של אספקות דלקי המאובנים, מאחר שללא מקורות האנרגיה האלה כל צורת החיים שלנו תשתנה. בנוסף, הזיהום שנובע משריפת דלקי מאובנים הוא הרה אסון, וגורם להתחממות גלובלית ולשינויי אקלים נוספים כתוצאה **מאפקט החממה**. הזיהום גם הורג באופן ישיר אנשים רבים. בסין, מעריכים שכ-1.6 מיליון בני אדם מתים כל שנה מנשימת אוויר מזוהם. לכן, כדי לענות על הצורך הגלובלי הגובר באנרגיה ולהגן על הסביבה שלנו, צריך לפתח מקורות דלק אלטרנטיבי 'נקי'.

אנרגית שמש כפתרון אפשרי

בזמן שאנחנו חושבים על התחזיות העגמומיות האלה, בואו נסתכל על הצד החיובי – לכיוון השמים. כל יום השמש שולחת כמות אדירה של אנרגיה. כמויות אנרגית השמש שמגיעה לפני כדור הארץ שלנו גדולה כל כך ששנה אחת שווה לפעמיים הכמות שאי פעם תוכל להיות מופקת מכל המשאבים הלא מתחדשים של כדור הארץ מפחם, מנפט, מגז טבעי, או מאורניום חצוב (עבור אנרגיה גרעינית) ביחד. יתירה מזאת, השמש היא חינמית ולא שייכת לאף מדינה. היא משאב מקומי, בלתי נגמר שהוא נקי ובר קיימא.

מאמצים אדירים מושקעים בפיתוח אמצעים ללכידת האנרגיה של השמש, תוך התמקדות בסוגים שונים של תאי שמש (תאים סולריים). החסרונות של תאים סולריים הם שהם מספקים אנרגיה בצורה של חשמל, שלא יכול לספק את כל צרכי האנרגיה של החברה. אנחנו גם לא רוצים להיות תלויים במקור אנרגיה שזמין רק בימים שמשיים, שזה הזמן היחיד שבו תאים סולריים יכולים לעבוד טוב. באופן לא מפתיע, הטבע מצא פתרון עם דרך חלופית להשתמש באנרגית שמש: צמחים משתמשים בה בתהליך של **פוטוסינתזה**, ממירים אור לדלק עבור הצמח. הרבה יותר קל לאגור דלק בהשוואה לאגירה של חשמל או חום. הטבע יכול לשמש עבורנו כהשראה לפיתוח של מערכת פוטוסינתזה מלאכותית, שבה אנרגיית שמש מומרת ישירות לדלק שיכול להיאגר ולהיות משונע (לנוע ממקום למקום) בקלות, בהתבסס על תהליך שנקרא **פוטוקטליזה**.

אפקט החממה (The greenhouse effect)

אפקט החממה הוא תהליך טבעי שמחמם את פני השטח של כדור הארץ (ואת האוויר שמעליו), כתוצאה מלכידה של אנרגיית השמש על-ידי גזים באטמוספירה. כשאנרגיית השמש מגיעה אל האטמוספירה של כדור הארץ, חלק ממנה מחוזר חזרה אל החלל והשאר נספג ומוקרן מחדש על-ידי גזי החממה. הגזים סופגי החום האלה מתפקדים כמו קירות וגג של חממה חקלאית. ללא אפקט החממה, כדור הארץ היה קר מדי עבור קיומם של חיים. עם זאת, ייצור מוגבר של גזי חממה יוצר בימים אלה עליה בטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ.

פוטוסינתזה (Photosynthesis)

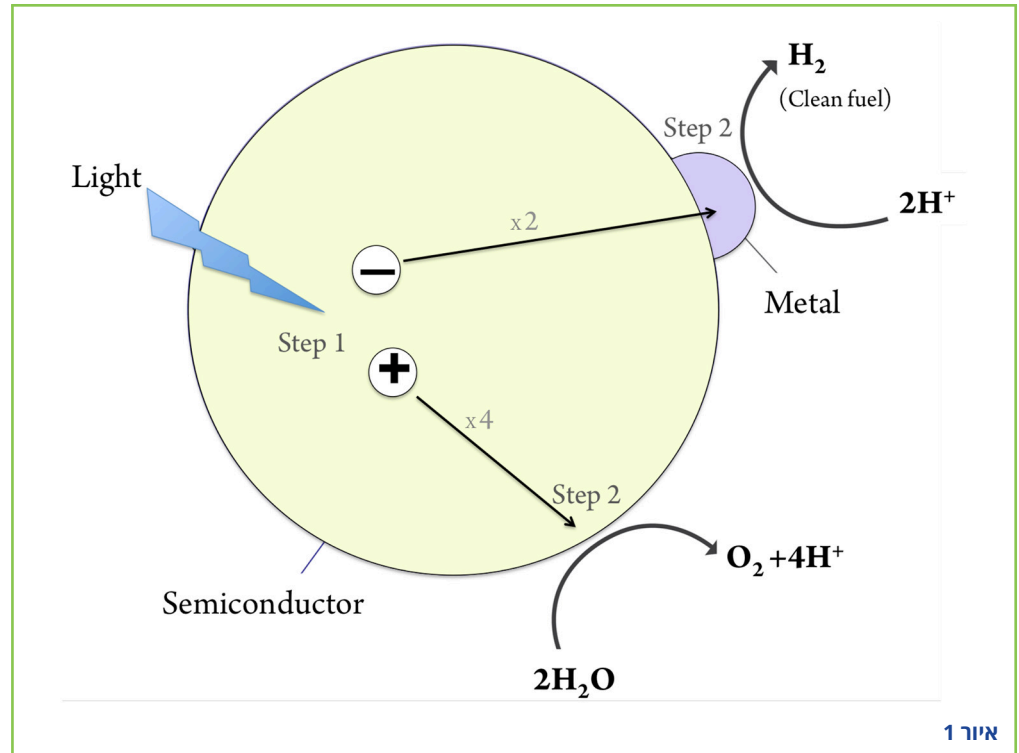
תהליך שמשמש צמחים ואורגניזמים אחרים להמרת אור לסוג של דלק שהאורגניזם זקוק לו, כמו למשל סוכר. באמנות אור, סוכר יכול להיות מיוצר מפחמן דו-חמצני וממים.

פוטוקטליזה (Photocatalysis)

המילה מורכבת משני חלקים. הקידומת "פוטו" משמעותה אור. "קטליזה" מתייחס לתהליך שבו חומר (שנקרא קטליסט) מוזר את קצב בתגובה הכימית מבלי שהוא משתנה או מתכלה. בתגובה פוטוקטליטית, הקטליסט מופעל על-ידי אור.

איור 1

התהליך הפוטוקטליטי. שלב 1 (Step 1): בזמן ספיגת האור על-ידי פוטוקטליסט מוליך למחצה (בצהוב), נוצרים מטען שלילי ומטען חיובי. ב-Step 2 המטענים האלה מקדמים את התגובה הכימית, שמפצלת מים לחמצן ומימן.



איור 1

מערכת פוטוקטליזה

מערכות פוטוקטליטיות בנויות בדרך כלל מחומרים שנקראים מוליכים למחצה. מוליכים למחצה משולבים בתאים סולריים, וגם מהווים את הבסיס לאלקטרוניקה המודרנית. מוליך למחצה הוא חומר שיכול להוליך חשמל בתנאים מסוימים ולא בתנאים אחרים. כשמוליך למחצה סופג אור שמש, האנרגיה שאגורה באור מומרת לצורך הפקת מטענים חיוביים ושליליים בתוך החומר, כפי שמודגם באיור 1 (Step 1). בתאים סולריים, המטענים האלה משמשים באופן ישיר בתור זרם (חשמל). אולם, בפוטוקטליזה המטענים האלה משמשים לקידום סוג מסוים של תגובות כימיות, שנקרא חמצון-חיזור, שמעברים מעבר של מטענים בין אטומים. בנוסף, מערכות פוטוקטליזה כוללות לעיתים קרובות חלקיקי מתכת קטנים (מוצגים בסגול באיור 1), שמסייעים לשפר את קצב התגובה. בקצרה, מערכת פוטוקטליטית סופגת שמש וממירה את אנרגיית השמש למטענים חיוביים ושליליים שמשמשים לקידום התגובה הכימית הרצויה.

המרת אנרגיית שמש לדלק באמצעות מערכת פוטוקטליטית

אנחנו רוצים להשתמש במטענים החשמליים שמויצרים על-ידי המערכת הקטליטית כדי לסייע לתגובות כימיות שגורמות ליצירת דלק. אנחנו מגדירים דלק בתור חומר כימי שמספק אנרגיה כשהוא נשרף (בשילוב עם חמצן). תגובות מסוימות דורשות אנרגיה על מנת להמשיך, בעוד שאחרות משחררות אנרגיה. המטרה שלנו היא למצוא תגובה כימית שדורשת אנרגיה, ולהשתמש באנרגיה של השמש כדי לקדם את התגובה הזאת. במהלך התגובה הזאת, קשרים כימיים נשברים וקשרים אחרים נוצרים, ומולקולות חדשות נוצרות. לאחר מכן, התגובה ההפוכה

יכולה לשחרר אנרגיה, שנאגרת בקשרים הכימיים של המולקולות שמויצרות, לפי דרישה, בכל פעם אנחנו רוצים.

לאחר מכן, אנחנו צריכים לקבוע את סוג הדלק שאנחנו מייצרים, ואיזו מולקולה לפרק באמצעות אנרגיית השמש עבור ייצור דלק. חשבו על משהו שיש הרבה ממנו בכדור הארץ, משהו פשוט ומתחדש. אם ניחשתם מים – ניחשתם נכון. למעשה, הרעיון של שימוש במים ובאור לייצור אנרגיה כבר קיים זמן מה. "מים יהיו הפחם של העתיד" כתב ז'ול וורן, באי התעלומות, עוד בשנת 1874. גם אור השמש וגם מים הם קלים להשגה ונמצאים כמעט בכל מקום על פני כדור הארץ. החלטנו להשתמש באור השמש כדי לפרק מים לצורך ייצור של מולקולות חמצן ומימן. מימן יכול לשמש בתור דלק. שלא כמו דלקי מאובנים, מימן הוא מקור אנרגיה שאינו מזהם. כשמימן נשרף, כלומר כשהוא מגיב עם חמצן, מיוצרים רק מים ואנרגיה. מימן גם משמש כימאים עבור ייצור של אמוניה, שהיא דשן חשוב וחיוני לחקלאות.

למרות הפוטנציאל הגדול, אחרי ארבעה עשורים של מחקר גלובלי, מערכות פוטוקטליטיות יציבות ויעילות עדיין לא פותחו, מאחר שהתהליך מורכב וישנם אתגרים רבים שעדיין צריך להתמודד איתם. לדוגמה, אם המטענים החיובי והשלילי, שנמשכים זה לזה, מצליחים להתחבר, הם יבטלו זה את זה והאנרגיה תאבד. על מנת להתקדם, קבוצת המחקר שלנו חקרה צורות פשוטות יותר של תגובות פוטוקטליטיות, תוך התמקדות רק בתגובות שמערבות סוג אחד של מטענים, בתקווה שהצורות הפשוטות יותר האלה בסופו של דבר יסייעו לנו להבין את התהליך המלא ולייצר מערכות פוטוקטליטיות יעילות. זה מתבצע באמצעות שימוש בתוספים כימיים שמבטלים את המטענים הלא רצויים.

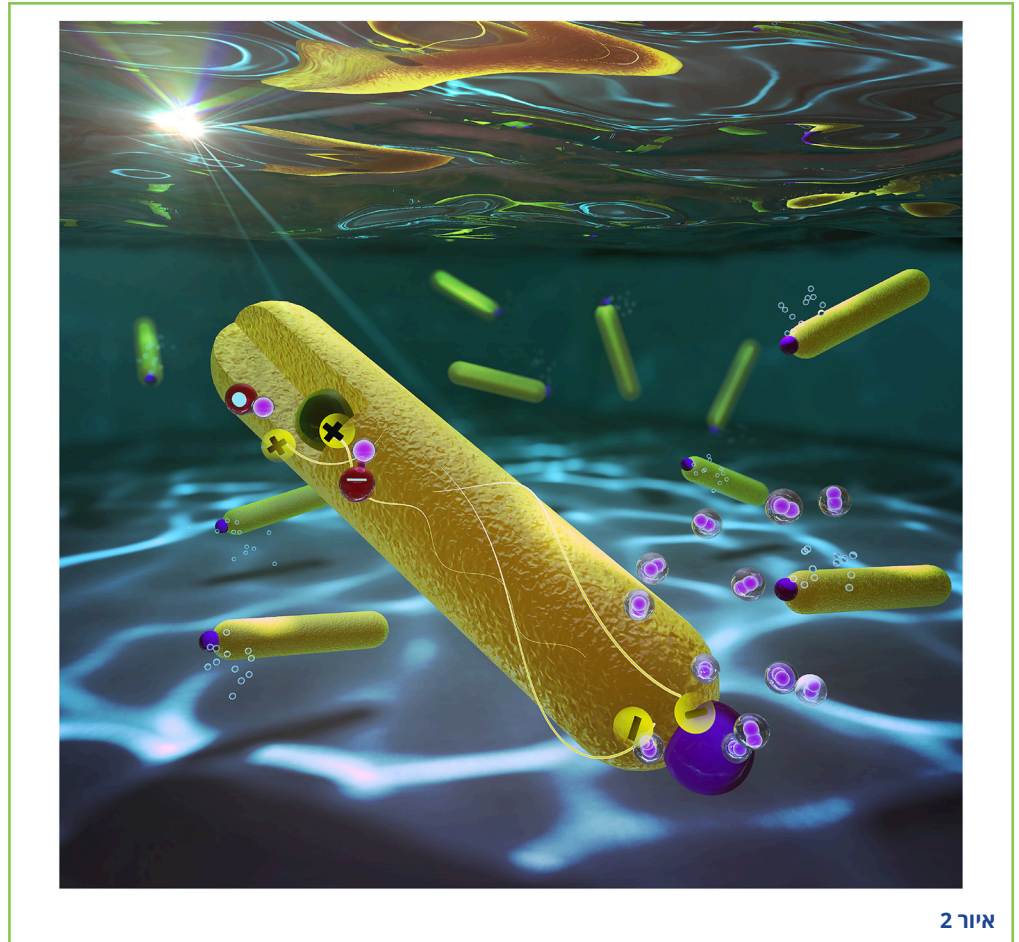
ההצלחה שלנו והאתגרים הבאים

לאחרונה, קבוצת המחקר שלנו השיגה המרה כמעט מושלמת של אור למולקולות מימן [2]. משמעות הדבר היא שכל האור הזה שהוא על גבי הפוטוקטליסט ייצר מימן ממים בצורה מוצלחת. היעילות המרשימה הזאת הושגה על-ידי שימוש במערכת פוטוקטליסטית מינאטורית ייחודית, עם מימדים בסקאלה הננומטרית. ננומטר (nm) אחד הוא 10^{-9} מטר. כדי לשים את הגודל הזה בפרספקטיבה, הקוטר של שיער אנושי הוא כ-50,000 ננומטר. תוצאה עוצמתית ומרתקת של עבודה עם חלקיקים בסקאלה הננומטרית היא הכוונן של התכונות שלהם כתלות בגודל. באמצעות שינוי גודל החלקיקים, מדענים יכולים לכוון בצורה מדויקת את התכונה הרצויה, כמו למשל איזה צבע אור יספג על-ידי המוליך למחצה, ואולי יהפוך אותו לפוטוקטליסט טוב יותר.

המערכת שפיתחנו מודגמת באיור 2. היא מכילה שני מוליכים למחצה, חלקיק ננומטרי עגול זעיר שעשוי מחומר שנקרא קדמיום סלניד, שמוטבע בתוך חומר שני בצורת מוט (קדמיום סולפיד), עם חלקיק מתכת מפלטינה בקצה שלו. החלקיק העגול מושך מטענים חיוביים, בזמן שמטענים שליליים נצברים על הקצה מפלטינה. ההפרדה הטובה בין המטענים האלה היא המפתח להצלחת המערכת [3]. היא מונעת ממטענים שליליים, שאחראיים על התגובה שמייצרת מימן ממים, להיות מבוטלים על-ידי מטענים חיוביים. מאחר שהמערכת שלנו כל כך יעילה, ננוחלקיק פוטוקטליטי יכול לייצר 360,000 מולקולות של מימן בשעה! זוהי היעילות הגבוהה שדווחה אי פעם עבור סוג המערכת הזה.

איור 2

המחשה אמנותית של הפוטוקטליסטים הננומטריים, שמורכבת מחלקיקי ננומטרי עגול זעיר של חומר אחד (בירוק), שמוטבע בתוך חומר שני בצורת מוט (בצהוב), עם חלקיקי פלטינה בקצה שלו (בסגול). המבנה הזה הוא פוטוקטליסט שמפריד בין החלקיקים החיובי והשלילי, מה שמהווה חלק מרכזי בהצלחת המערכת.



איור 2

בעוד שהפוטוקטליסט הננומטרי שלנו נמצא כיעיל עבור ייצור מימן, הוא אינו מתאים לפירוק מים כולל מאחר שאינו יציב מספיק. חשיפה ממושכת לאור מובילה לפירוק של החומרים שמרכיבים את הפוטוקטליסט. מאחר שאנחנו צריכים להמשיך להוסיף כימיקלים נוספים כדי למנוע את הפירוק הזה, אנחנו לא באמת מפיקים אנרגיה באמצעות המערכת הזאת (כי האנרגיה שמוצרת אינה גדולה יותר מהאנרגיה שמושקעת במערכת).

ההשג שלנו הוא אבן דרך משמעותית, אולם הדרך לקראת המרה ישירה של אנרגיית שמש לדלק עדיין ארוכה. אולי יום אחד **אתם** תהיו אלה שתצליחו לפתח מערכת כזאת שעובדת...

תודות

המחקר הזה בוצע במסגרת מכון RBNI (the Russell Berrie Nanotechnology Institute) ותכנית GTEP (the Nancy and Stephen Grand Technion Energy Program).

מקורות

1. According to the U.S Energy Information Administration.

2. Kalisman, P., Nakibli, Y., and Amirav, L. 2016. Perfect photon-to-hydrogen conversion efficiency. Nano Lett. 16:1776–81. doi: 10.1021/acs.nanolett.5b04813
3. Amirav, L., and Paul, A. A. 2010. Photocatalytic hydrogen production with tunable nanorod heterostructures. J Phys Chem Lett. 1:1051 4. doi: 10.1021/jz100075c

פורסם אונליין: 09 ביולי 2020

נערך על ידי: Idan Segev, Hebrew University of Jerusalem, Israel

ציטוט: Amirav L (2020) המרת אור שמש לדלק באמצעות מערכת מיניאטורית ייחודית. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.00039-he

תורגם והותאם:

Amirav L (2020) Converting Sunlight Into Fuel Using a Unique Miniature System. Front. Young Minds 8:39. doi: 10.3389/frym.2020.00039

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Amirav 2020. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרת צעירה

ANNA, גיל: 13

אני בת 13. אני אוהבת אמנות ובפרט ציור. אני אוהבת לבלות עם החברים והמשפחה שלי ויש לי כלב שאני מאד מאד אוהבת. אני מאד מתעניינת במדע בכלל ובביולוגיה בפרט.

הכותבת

LILAC AMIRAV

אני פרופסורית בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, שם אני מובילה מעבדה של פוטוקטליזה בסקאלה הננומטרית. המחקר שלנו מתמקד בעיצוב וביצור של מבנים מיניאטוריים מורכבים שיכולים לספוג אור שמש ולהשתמש באנרגיה שבתוכם על מנת לייצר דלק נקי או לטהר מים מזהמים. אנחנו עושים את המירב על מנת להשתמש בכימיה, בפיזיקה ובהנדסה על מנת לשפר את העולם שלנו, אפילו בקצת. כשאני לא חוקרת אני מבלה עם בן זוגי, עמרי, ושלושת ילדינו – שלי, דולב ושני. אני גם נהנית מאמנות וממלאכת יד, מטיפוס ומקריאה



Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ע.ר.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

