

## לשתף פעולה או לא? זו לא שאלה!

Avi Avital\*, Shlomit Aga-Mizrachi

המעבדה לנירוביולוגיה התנהגותית, אוניברסיטת חיפה

שיתוף פעולה חברתי הוא מצב שבו כמה פרטים מפיקים תועלת הדדית מפעילות משותפת, שהצלחתה תלויה בתפקוד כל אחד מהמשתתפים. דמיינו למשל משחק כדורסל שבו כל חברי הקבוצה מתאמצים יחד ומשתפים פעולה כדי לנצח במשחק. במטרה לחקור את מנגנון שיתוף הפעולה, נדרש מחקר בסיסי במודל בעלי חיים. לאורך השנים הוצע מגוון רחב של מודלים לשיתוף פעולה חברתי, אך בכל אחד מהמודלים הללו שיתוף הפעולה שהתקבל היה חסר. בעבודתנו יצרנו מבוק ייחודי ללימוד שיתוף פעולה חברתי בחולדות, שהוא אוטומטי לחלוטין, ובו שני השותפים מוּנְעִים לתאם את התנהגותם כזוג. בהמשך, השתמשנו במבוק החדש שפיתחנו כדי לחקור לעומק את מנגנון שיתוף הפעולה החברתי, וגילינו לראשונה שהתורשה (nature) ולא הסביבה (nurture) היא הגורם המשמעותי להעברה הבין-דורית של היכולת לשיתוף פעולה חברתי.

### חשיבות שיתוף הפעולה החברתי

שיתוף פעולה חברתי מוגדר כפעולה משותפת להפקת תועלת הדדית התלויה לא רק בהתנהגות האישית אלא גם בהתנהגויותיהם של אחרים. השותפים מגיבים זה לזה, ופועלים בדרך תומכת כדי להשיג את המטרה המשותפת. שיתוף פעולה חברתי הוא פעולה מורכבת,

#### סוקרים צעירים

HEBREW  
FYM YOUTH  
COUNCIL  
גיל: 15-18



ISRAEL ARTS  
AND  
SCIENCE  
ACADEMY  
גיל: 12-13



הדורשת יכולות חברתיות ומיומנויות קוגניטיביות שונות. הוא חיוני לחיי החברה האנושיים, וניכר בפעילויות יומיומיות שאנו מבצעים [1]. ההנעה לשיתוף פעולה חברתי היא מעצם העבודה המשותפת למען תגמול שווה למשתפי הפעולה, ובמקרה של חוסר הצלחה גם ההפסד הוא משותף. מכאן נובע הכלל לשיתוף פעולה – "כוחנו באחדותנו". שיבוש בהתנהגות שיתוף הפעולה מאפיין מחלות רבות ובעיקר את הפרעת **האוטיזם**, מה שמדגיש אף יותר את החשיבות הרבה בחקר המנגנון המוחי של שיתוף פעולה חברתי.

במחקר בבני אדם, מרבית שיטות המחקר לא מאפשרות עריכת מחקר אורך מעבר לכמה שנים. לעומת זאת יחס החיים של 1:30 בין חולדה לבן אדם, והדמיון הגנטי (96%) והמוחי ביניהם – כל אלה מאפשרים מחקר מעמיק של מנגנונים מוחיים וביולוגיים באמצעות מודלים מתאימים בבעלי חיים.

## כיצד נגרום לבעלי חיים לשותף פעולה זה עם זה?

לאורך השנים הוצע מגוון רחב של מודלים לשיתוף פעולה חברתי בבעלי חיים, הכולל שימפנזים, פילים ועורבים. דווחו גם כמה ניסיונות לייצר מודלים תקפים במכרסמים (חולדות ועכברים), שהם בעלי החיים הנפוצים ביותר במחקר מדעי, ושיש דמיון בינם לבין בני אדם הן מבחינה מוחית הן מבחינה התנהגותית. עם זה בכל אחד מהמודלים הללו שיתוף הפעולה שהתקבל היה חסר. במודל אחד שיתוף הפעולה שנבדק כלל גם משתנים התנהגותיים כגון שליטה באימפולסיביות, כלומר היכולת לעכב תגובה אוטומטית. במודל אחר, הגישה לתגמול הייתה תמיד זמינה רק עבור שותף אחד מבין שני הנבדקים ובמודל המתקדם יותר, זוג חולדות נדרש לתאם את תנועתן בתיבת ריצה כדי לקבל תגמול הדדי, אך המתנים ברצפה והאורות במבוך שימשו כאמצעי לימוד (**התניה אופרנטית**) המסמנות לחולדות לנוע יחד. לפיכך, האתגר הראשון בעבודתנו היה ליצור כלי התנהגותי וטכנולוגי המלמד שיתוף פעולה חברתי בחולדות, ומוזד אותן. אכן, הצלחנו ליצור מבוך ייחודי לשיתוף פעולה חברתי בחולדות, שהוא אוטומטי לחלוטין ונשלט על ידי מעקב וידיאו. במבוך זה שני השותפים זוכים לתגמול שווה, כאשר הם נעים בתיאום בין חלקי המבוך השונים, תוך תקשורת ביניהם.

המבוך לשיתוף פעולה חברתי מורכב מקופסת פלסטיק שחורה המחולקת אנכית לשני נתיבים באמצעות מחיצה שקופה ומחוררת, כך שהתקשורת בין החולדות מתאפשרת על ידי שימוש במגוון החושים, אך ללא מגע פיזי (ראו איור 1). ביצוע מוצלח של שיתוף פעולה חברתי יחשב כתנועה מתואמת של שתי החולדות מתחילת הנתיב עד לסופו (מהאזור הווירטואלי A ל-C). הגעה לאזור הסופי, המתגמל (אזור C), גורמת להפעלה אוטומטית של משאבות המעניקות תגמול הדדי בכמות שווה של נוזל סוכר לשתי החולדות. לבסוף, כדי לקבל תגמול נוסף, החולדות נדרשות להפעיל מחדש את התנועה המתואמת שלהן – תנועה משותפת במקביל – מתחילת המבוך לעבר האזור המתגמל, וזאת במהלך 15 דקות אימון בכל יום, למשך 18 ימים. מספר התגמולים שזוג החולדות קיבל במהלך 15 דקות האימון מהווה מדד לרמת שיתוף הפעולה ביניהן [2].

תוך שימוש במבוך לשיתוף הפעולה גילינו כמה ממצאים מעניינים: (א) זוג חולדות השיגו מספר תגמולים גבוה יותר מאשר חולדה בודדת שרצה במבוך, מה שמעיד על כוחו המניע של שיתוף הפעולה החברתי; (ב) סימנים מרחביים על דפנות המבוך, שיכולים לסייע בהתמצאות

### אוטיזם (Autism)

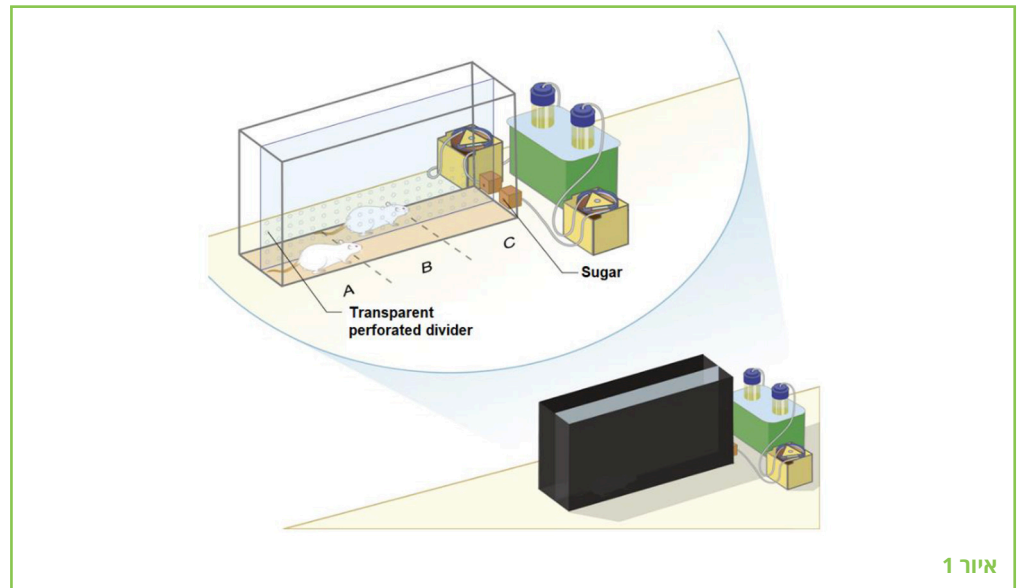
הפרעה התפתחותית נוירולוגית הנובעת משילוב של מרכיבי גנטי וגורמים סביבתיים. מתאפיינת בשיבוש בתפקודים השפתי והתקשורתי ובתחום הכישורים החברתיים. מאפיינים נוספים של אוטיזם הם התנהגות חזרתית וליקוי בוויסות החושי.

### התניה אופרנטית (Operant conditioning)

תהליך למידה התנהגותית המהווה אבן יסוד בתחום עיצוב ההתנהגות. מבוסס על חיזוקים חיוביים ושיליים: התנהגות שמקבלת חיזוק חיובי מעלה הסיכוי להישנותה, בניגוד להתנהגות שמחוזקת שלילית, שמורידה הסיכוי שהפרט יחזור עליה.

## איור 1

מבוך לשיתוף פעולה חברתי. באמצעות המבוך האוטומטי שלנו לשיתוף פעולה חברתי, הוכשרו זוג חולדות בהדרגה במשך 18 יום לתאם את התנועה שלהן על פני שלושה אזורים וירטואליים (A עד C). שיתוף פעולה מוצלח סיפק תגמול של נוזל סוכר לשתי החולדות השותפות. מספר התגמולים נמדד במהלך 15 דקות למידה יומית.



איור 1

המרחבית של החולדות ולשפר את למידתן, לא העלו את מספר התגמולים שהחולדות השיגו – מכאן למדנו על העדפת החולדות את מקור המידע החברתי על פני ההקשרי; (ג) הורדת עוצמת התגמול על ידי הפחתת מתיקות התמיסה לא פגעה במספר התגמולים שהושגו, והחולדות המשיכו לשתף פעולה באותה איכות ביצוע; (ד) נקבות משיגות יותר תגמולים מזכרים – משמע, הן מבצעות שיתוף פעולה טוב יותר; (ה) כאשר במבוך רצו זוגות מעורבים של זכר ונקבה, הם השיגו מספר תגמולים גבוה יותר מזוגות של זכרים בלבד – המשמעות היא שהנקבה שיפרה את יכולת שיתוף הפעולה של הזכר.

## היכולת לשיתוף פעולה חברתי – תורשה מול סביבה

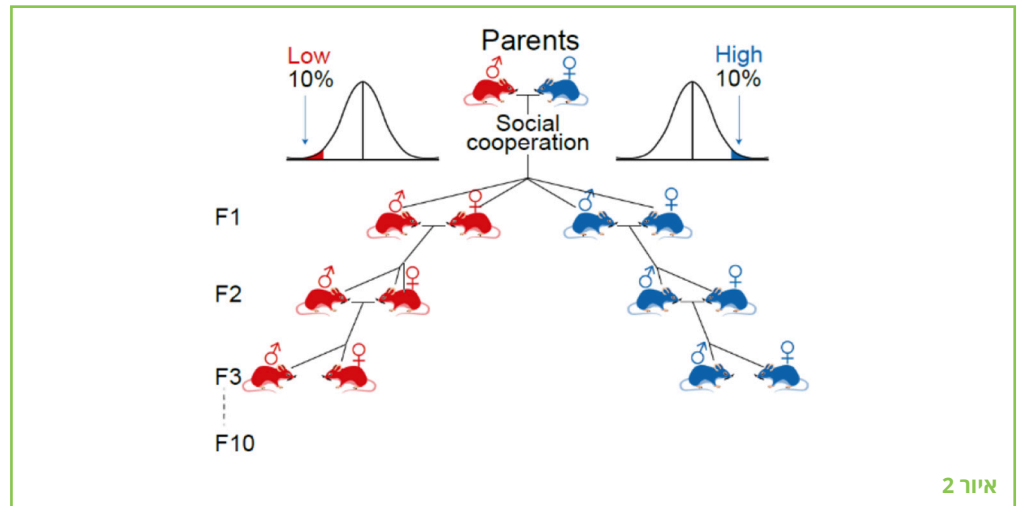
בספרות המדעית ישנה מחלוקת לגבי הקשר בין התנהגות חברתית לביטוי גֵנִים. מקורה של מחלוקת זו בוויכוח הבלתי-פתור בין תורשה לסביבה (nature versus nurture), הדן בשאלה אם התנהגות אנושית נקבעת על ידי התורשה של האדם או על ידי השפעות הסביבה [3]. התורשה, החיווט העצבי מראש, מושפעת מהורשה גנטית, מהתפתחות המוח ומגורמים ביולוגיים נוספים. הסביבה היא השפעה של גורמים חיצוניים על האורגניזם, לאחר ההתעברות, הכוללים חשיפה לגורמי סיכון כגון לחץ, או לגורמי חוסן כמו תמיכה חברתית, וחוויות חיים שונות. לפיכך, בשלב הבא רצינו לחקור האם היכולת לשיתוף פעולה חברתי היא בעלת בסיס גנטי העובר בתורשה אל הצאצאים. לצורך כך יצרנו במעבדה שתי תת-אוכלוסיות שונות ונבדלות של חולדות: האחת – חולדות המבצעות שיתוף פעולה ברמה גבוהה (High), והשנייה – חולדות המבצעות שיתוף פעולה ברמה נמוכה (Low).

## כיצד ניתן ליצור במעבדה שתי תת-אוכלוסיות של חולדות?

התחלנו מדור ההורים, כשזכרים ונקבות בוגרים (בני 60 יום) אומנו במבוך שיתוף הפעולה למשך 18 ימים רצופים. הביצועים של דור ההורים נותחו וסווגו לפי ציון התגמול הממוצע שלהם, לשתי קבוצות משנה: (i) חולדות מבצעות טובות – זכרים ונקבות שהשיגו את הביצועים

**איור 2**

הליך רבייה סלקטיבי. זכרים ונקבות מדור ההורים הוכשרו וסווגו לשתי קבוצות משנה לפי ציון התגמול הממוצע שלהם: (i) ביצועים גבוהים – כולל זוגות חולדות זכרים ונקבות שהשיגו את ציון התגמול הגבוה ביותר (מעל 90%); או (ii) ביצועים נמוכים – כולל זוגות חולדות זכרים ונקבות שהשיגו את ציון התגמול הנמוך ביותר (מתחת ל-10%). זכרים ונקבות מאותה תת-קבוצה גדלו ונבררו למשך עשרה דורות (F1-F10). בכל הניסויים הללו השתתפו בסך הכול 1,052 חולדות.

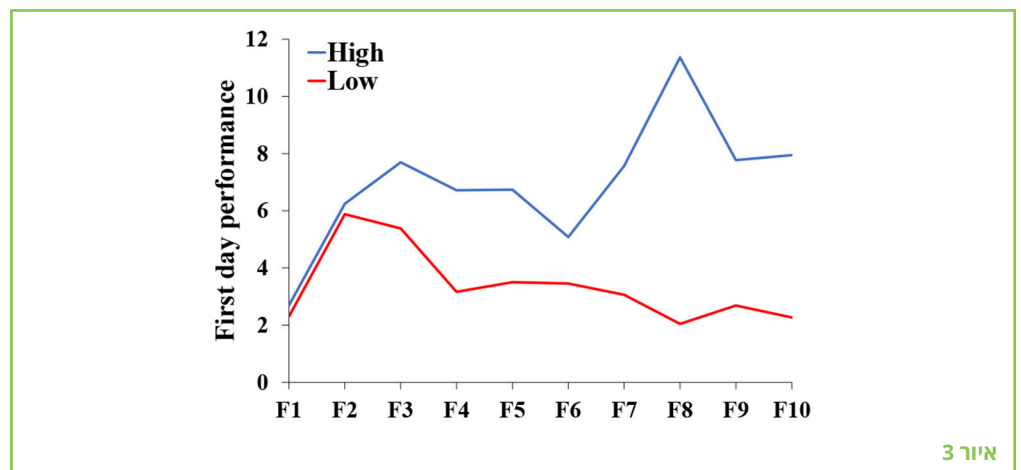


איור 2

הגבוהים ביותר (ציון מעל 90%); או (ii) חולדות מבצעות נמוכות – זכרים ונקבות שהשיגו את הביצועים הנמוכים ביותר (ציון מתחת ל-10%).

הכלאנו בין הזכרים והנקבות שהראו ביצוע גבוה, ובד בבד בין הזכרים והנקבות שהראו ביצוע נמוך. את הצאצאים שלהם (דור 1) אָמְנוּ בבגרותם במבוך שיתוף הפעולה, וכך המשכנו לברור את תת-האוכלוסיות בעלות הביצועים הגבוהים והנמוכים למשך עשרה דורות (איור 2). כבר מהדור הרביעי ניתן היה להבדיל בין שתי תת-האוכלוסיות, וההבדל בין המבצעים הגבוהים והנמוכים גדל בהדרגה לאורך הדורות, כשתת-האוכלוסייה הגבוהה הראתה שיפור מתמשך בביצוע שיתוף הפעולה, ואילו תת-האוכלוסייה הנמוכה שמרה על ביצועיה הנמוכים הראשוניים (וידאו 1).

כדי לבדוק התנהגותית אם קיימת השפעה **תורשתית** על יכולת שיתוף הפעולה החברתי, מדדנו את הביצועים ביום הראשון בתת-האוכלוסיות השונות לאורך הדורות. מספר התגמולים ביום הראשון בלבד מהווה מדד לאפקט התורשה הבין-דורי, כיוון שבזמן זה לא קיים עדיין רקע של יכולת למידה מוקדמת. ואכן, מצאנו כי תת-האוכלוסייה של המבצעים הגבוהים הראתה עלייה במספר התגמולים שהושגו כבר ביום הראשון, לאורך עשרה דורות. למעשה, מהדור הרביעי ואילך, המבצעים הגבוהים הגדילו בהדרגה את החיזוק ההדדי ביום הראשון, בעוד שהמבצעים הנמוכים הראו ירידה (איור 3). ממצא זה מאשש את ההשערה כי המקור ליכולת שיתוף הפעולה החברתי הוא תורשתי, ולא נרכש מהסביבה.



איור 3

**וידאו 1**

חולדות מתתי האוכלוסיה של המבצעים הגבוהים (A) והנמוכים (B) במבוך שיתוף הפעולה החברתי. שימו לב להבדלי הביצוע בין המבצעים הגבוהים לעומת הנמוכים.

**תורשה**

**(Heredity)**

העברה של חומר תורשתי המקודד למידע תורשתי (גנים), מהורה לצאצאיו. הגנים קובעים את התכונות המשותפות או הייחודיות לכל הפרטים בני אותו מין.

**איור 3**

אפקט הלמידה הראשוני. הערכנו את הביצועים ביום הראשון של כל דור. מ-F4 ואילך, המבצעים הגבוהים הגדילו בהדרגה את החיזוק ההדדי ביום הראשון, בעוד שהמבצעים הנמוכים הראו ירידה. ממצא זה מאשש את ההשערה כי המקור ליכולת שיתוף הפעולה החברתי הוא תורשתי, ולא נרכש מהסביבה.

לאחרונה איתרנו ממצאים נוספים ומרגשים שחזקו את התמיכה בכך ששיתוף הפעולה החברתי מושפע בעיקר על ידי התורשה והגנים. בשלב זה נשאייר אתכם סקרנים ומתוחים לקראת הפרק המחקרי הבא.

## סיכום

המחקר מדגיש את החשיבות של פיתוח כלי מחקר, ואת חשיבות עריכת מחקר בסיסי באמצעות שימוש במודלים של בעלי חיים, במטרה להבין התנהגויות אנושיות. היכולת לחקור את הבסיס התורשתי או הסביבתי של שיתוף פעולה חברתי, מקדמת את ההבנה המוחית והביולוגית של התנהגות חשובה זו. נוסף על כך שימוש בשיטות מחקר התנהגותיות מתקדמות אפשר להסיק כי התנהגות שיתוף הפעולה החברתי היא מורשת בעיקרה, ובכך מקדמת גם את ההבנה של מחלות מורכבות כגון הפרעת אוטיזם.

## מאמר המקור

Avital, A., Aga-Mizrachi, S., and Zubedat, S. 2016. Evidence for social cooperation in rodents by automated maze. *Sci Rep.* 6:29517. doi: 10.1038/srep29517

## מקורות

1. Tomasello, M., and Vaish, A. 2013. Origins of human cooperation and morality. *Annu. Rev. Psychol.* 64:231–55. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143812
2. Avital, A., Aga-Mizrachi, S., and Zubedat, S. 2016. Evidence for social cooperation in rodents by automated maze. *Sci. Rep.* 6:29517. doi: 10.1038/srep29517
3. Moore, D. S. 2003. *The Dependent Gene: The Fallacy of 'Nature vs. Nurture'*. Available online at: [https://books.google.co.il/books?id=GkMJdDcL7QUc&pg=PA35&redir\\_esc=y](https://books.google.co.il/books?id=GkMJdDcL7QUc&pg=PA35&redir_esc=y) (accessed February 8, 2021)

פורסם אונליין: 26 באפריל 2022

נערך על ידי: Idan Segev

מנחה מדעי: Idan Segev

**ציטוט:** Avital A and Aga-Mizrachi S (2022) לשתף פעולה או לא? זו לא שאלה! Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2021.751592-he

Avital A and Aga-Mizrachi S (2022) Are Our Genes Important for **תורגם והותאם:** Cooperation? Front. Young Minds 9:751592. doi: 10.3389/frym.2021.751592

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

© 2022 © COPYRIGHT Avital and Aga-Mizrachi 2022. 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 למחבר(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.

## סוקרים צעירים

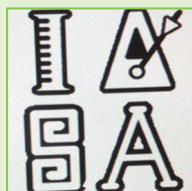
### HEBREW FYM YOUTH CONCIL, גיל: 15-18

מועצת הצעירים של פרונטיר-מדע לצעירים היא קבוצה של נערים ונערות שהצטרפו לצוות של פרונטיר-מדע לצעירים בנושאים שונים, והם מקדמים את העיתון ברשתות החברתיות. סקרנו את המאמר הזה בהנחייתה של דר. גליה זר-כבוד, מנהלת הפרוייקט של פרונטיר-מדע לצעירים בישראל.



### ISRAEL ARTS AND SCIENCE ACADEMY, גיל: 12-13

האקדמיה הישראלית למדע ואומנות היא מקום לתלמידים סקרנים שאוהבים ללמוד. בכיתה ז', כחלק מקורסי הבחירה שלנו, אנו קבוצה של 15 תלמידים שקוראים מאמרים מדעיים שאנו בחרנו. ענת מעוז, מנהלת התיכון שלנו, שלה גם תואר שני בביולוגיה ימית, מנחה את הקורס.



## הכותבים

### AVI AVITAL

אני פרופסור לחקר המוח, ראש המעבדה לנוירוביולוגיה התנהגותית בפקולטה למדעי הרווחה והבריאות באוניברסיטת חיפה. מעניין אותי לחקור את השפעת האיזון הרגשי, הקשבי, החושי והחברתי על תפקודים יומיומיים. הנאתי הגדולה במחקרים אלו היא המצאה ופיתוח כלים מחקריים חדשים, וביצוע מחקר במודלים של בעלי חיים ובבני אדם. בזמני החופשי אני מתופף בתופים, מגדל ירקות בגינה ואוהב לטייל ברגל וברכב שטח. \*Avitalavi@hotmail.com



### SHLOMIT AGA-MIZRACHI

אני ד"ר לביוכימיה, מנהלת המעבדה לנוירוביולוגיה התנהגותית בפקולטה למדעי הרווחה והבריאות באוניברסיטת חיפה. מעניינת אותי ההבנה כיצד המוח משפיע על התנהגותנו והאופן שבו ניתן לשנות התנהגות ולעצבה. אני אוהבת לקרוא ספרי מתח, לבשל מתכונים חדשים ולהשתולל עם ילדיי.



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטיר מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK