

מסע בזמן בתוך המוח

Natalie Biderman^{1*}, Daphna Shohamy^{1,2*}

¹המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת קולומביה, ניו-יורק, ניו-יורק, ארצות הברית
²מכון צוקרמן להתנהגות מיינד ומוח ומכון קאביל למדעי המוח, אוניברסיטת קולומביה, ניו-יורק, ניו-יורק, ארצות הברית

סוקרים צעירים

EXPLORA
SCIENCE
CENTER
AND
CHILDREN'S
MUSEUM



גיל: 8-14

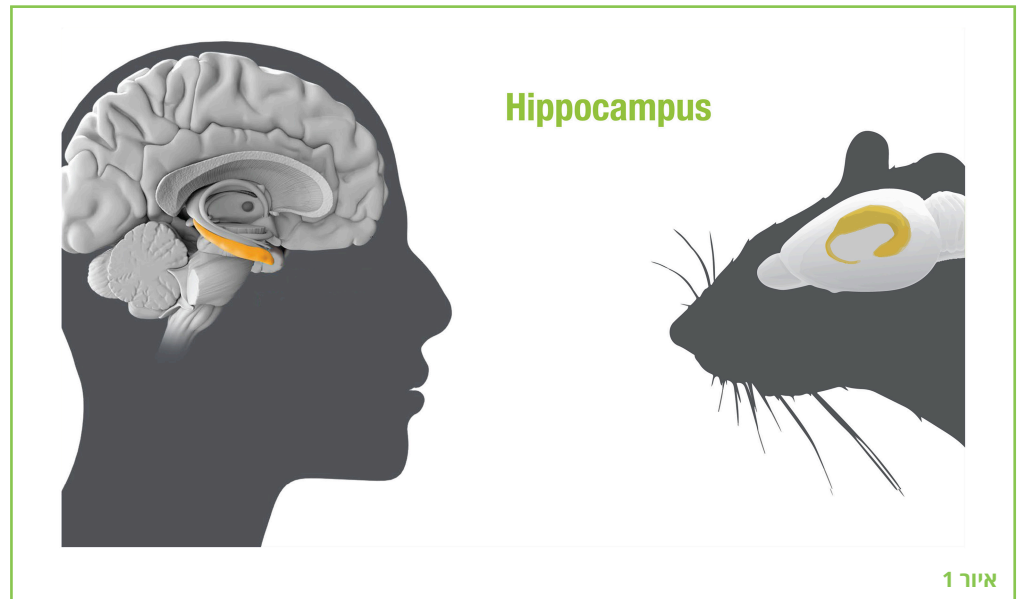
¹אתם יכולים לזרוק את הכדור למעלה. הגרביטציה תעשה את השאר.

האם אתם מאמינים במסעות בזמן? בכל פעם שאנו זוכרים משהו מהעבר, או מדמיינים משהו שיקרה בעתיד, אנו יוצאים למסע מנטלי בזמן. מדענים גילו שבין אם אנו מטיילים מנטלית בזמן לעבר או לעתיד, אזורים חופפים במוח מופעלים. אחד האזורים האלה הוא ההיפוקמפוס, מבנה במוח שידוע בתפקידו ביצירת זיכרונות ארוכי-טווח. נזק להיפוקמפוס גורם לבעיות זיכרון, אולם הוא גם פוגם ביכולת לדמיין חוויות עתידיות. הקשר המוחי הזה בין זיכרון העבר ומחשבה על העתיד, מציע שזיכרון, תכנון וקבלת החלטות קשורים. היכולת ליצור זיכרונות מאפשרת לנו להיזכר בעבר. אולם ייתכן שהיכולת ליצור זיכרונות גם התפתחה כדי לאפשר לנו לחשוב ולתכנן את העתיד.

בואו נתחיל עם חידה. נסו להבין כיצד לזרוק כדור פינג פונג כך שהוא יתקדם למרחק קצר, ייעצר, ואז יהפוך את כיוונו. אינכם יכולים לזרוק את הכדור כך שהוא יעשה מסלול מעוקם חזרה אליכם (כמו פריזבי), ואסור שהכדור יגע באובייקט אחר או יתחבר אליו [1]. מה אתם יכולים לעשות? הפתרון לחידה הזו מתואר בהערת השוליים למטה¹. כן, זהו פתרון פשוט. אל תדאגו אם לא פענחתם את זה מייד, להרבה אנשים לוקח זמן. השאלה המעניינת היא מדוע. חלק טוענים שלאנשים קשה לפתור את החידה הזו מאחר שהתרחישים שאנו רגילים לדמיין מוגבלים על-ידי חוויות העבר שלנו בעולם. אנו רגילים לראות כדורי פינג פונג שנעים באופן אופקי. לכן, כשאנו רואים את הכדור בעיני רוחנו, קשה לדמיין שהוא נע באופן אנכי לעבר

איור 1

ההיפוקמפוס במוחות של אדם וחולדה. ההיפוקמפוס הוא אזור דמוי סוסון ים במוח, שממוקם באונה הרקתית האמצעית, וידוע בתפקידו ליצור זכרונות לטווח ארוך. התמונה נערכה עם רשיון מ-www.nobelprize.org, כל הזכויות שמורות ל-Mattias Karlén/-The Nobel Committee for Physiology or Medicine, Karolinska Institute. את הגרסה המקורית אפשר לראות באתר www.nobelprize.org בקישור <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/press-release/>



השמיים, מאחר שפשוט לא ראינו הרבה כדורי פינג פונג שעפים למעלה ולמטה. במאמר הזה, נתאר ראיות מדעיות לקשר שבין זיכרון לדמיון, ונדון בשאלה מדוע הקשר הזה ממלא תפקיד חשוב בהיבטים רבים בהתנהגות שלנו, ובפרט באופן שבו אנו מקבלים החלטות.

מטופלים שלא יכולים לזכור את העבר, לא יכולים לדמיין את העתיד

מדענים גילו שדמיון חוויות חדשות וחשיבה על העתיד מערבים אזורים חופפים במוח, שמסייעים ליכולת שלנו לזכור את העבר [2, 3]. אחד האזורים האלה הוא ההיפוקמפוס, מבנה דמוי סוסון ים במוח, שממוקם עמוק באונה הרקתית האמצעית (בערך מאחורי האוזניים שלכם; ראו איור 1; ההיפוקמפוס בלטינית משמע פרסת סוס). ההיפוקמפוס ידוע כקריטי ביצירת זכרונות ארוכי טווח של אירועים, אולם הוא לא פועל לבד. במוח בריא ההיפוקמפוס, יחד עם אזורים אחרים במוח, מאפשר את האחסון והשליפה של זכרונות לטווח ארוך. מטופלים עם נזק בהיפוקמפוס סובלים לעיתים קרובות ממצב שנקרא **שיכחון למאחר (אמנזיה אנטרוגרדית; אמנזיה משמעותה לשכוח, ואנטרוגרדית משמעותה לאחר המקרה):** הם נוטים לשכוח אירועים שהתרחשו אחרי שהמוח שלהם ניזוק, בזמן שהם בדרך כלל יכולים לזכור אירועים שהתרחשו לפני הנזק המוחי. באופן מעניין, להרבה מטופלי שיכחון קשה לדמיין אירועים בעתיד [2, 4]. לדוגמה, כשאחד ממטופלי השיכחון למאחר התבקש לתאר מה הוא צריך לעשות מחר, הוא לא ידע מה לומר. הוא דיווח שכשהוא מנסה לחשוב על העתיד הוא מרגיש "ריקנות" או "תחושה כמו שינה" [5]. לפני כמה שנים, קבוצת מדענים מבריטניה בחנה אם ההיפוקמפוס מתפקד הוא הכרחי עבור דמיון [4]. הם ביקשו מכמה מטופלי שיכחון למאחר לדמיין ולתאר 10 תרחישים אפשריים, כמו שכיבה בחוף הים או עמידה במסדרון המרכזי של מוזיאון. החוקרים ספרו את מספר הפרטים שמטופלים כללו בתיאורים שלהם, והשוו את המספר הזה למספר של קבוצת אנשים בריאים ללא נזק בהיפוקמפוס. התוצאות היו מרתקות: בעוד שהקבוצה הבריאה תיארה אירועים מדומיינים באופן די חי, קבוצת מטופלי השיכחון בקושי יכלה לעשות זאת, והפיקה כמות פרטים קטנה בהרבה (ראו איור 2A). הממצאים האלה מציעים שנזק בהיפוקמפוס לא רק פוגע בזיכרון, אלא גם פוגע ביכולת לדמיין.

היפוקמפוס (Hippocampus)

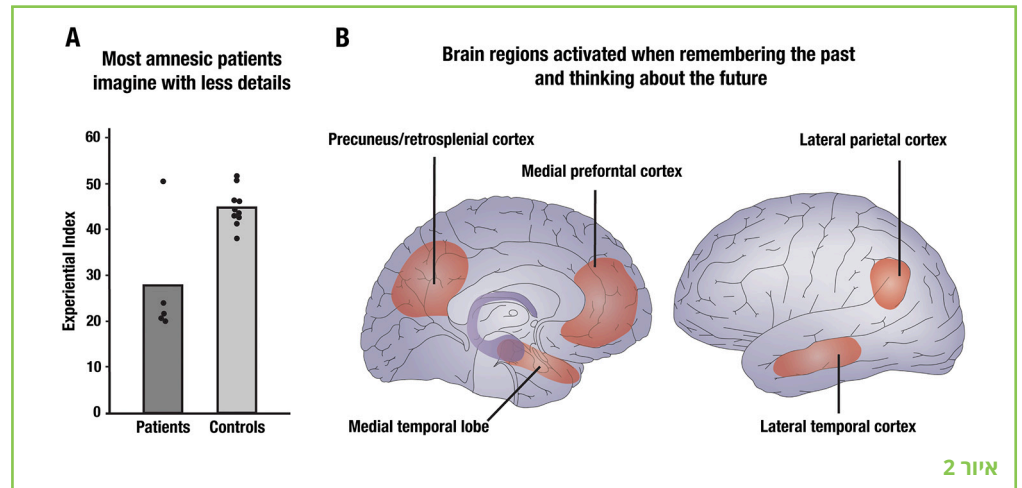
מבנה במוח שממוקם באונה הרקתית האמצעית.

שיכחון למאחר/ אמנזיה אנטרוגרדית (Anterograde Amnesia)

אובדן היכולת ליצור זכרונות חדשים אחרי האירוע שיצר את השיכחון.

איור 2

אזורים במוח שחשובים לזיכרון העבר גם פעילים בדמיון העתיד. (A) מרבית המטופלים עם נזק בהיפוקמפוס מתארים אירועים מדומיינים עם פחות פרטים בהשוואה לאנשים בריאים. שימו לב לכך שלמטופל הבודד שעשה עבודה טובה, יש שארית רקמת היפוקמפוס שעשויה לעזור לו. אינדקס נסיוני הוא תוצאה משולבת של החוויה המדומיינת. (B) מחקרי דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI) עם אנשים בריאים מצאו רשת בסיסית של אזורים מוחיים שממלאים תפקיד גם בזיכרונות העבר, וגם בחשיבה על העתיד. פאנל A נלקח מ- Hassabis et al (2007) [4], זכויות יוצרים National Academy of Sciences, U.S.A. פאנל B נלקח מ- Schacter et al [3], זכויות יוצרים Nature Reviews Neuroscience, Copyright (2007)



איור 2

רשת של אזורים מוחיים פעילה כשמזכרים בעבר וכשמדמיינים את העתיד

האם ההיפוקמפוס תורם גם לדמיון אצל אנשים בריאים? קבוצת מדענים אחרת השתמשה בשיטה שנקראת **דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI)** כדי לבחון את השאלה הזו [6]. fMRI משמש למדידת פעילות באזורים מסוימים במוח במהלך מטלה מנטלית. חוקרים השתמשו ב-fMRI כדי למדוד פעילות מוחית בקבוצה של אנשים בריאים, בזמן שהם נוכרו באירועים מהעבר (למשל, יום ההולדת שלהם בשנה שעברה), או דמיינו אירוע עתידי שהם מעולם לא חוו בעבר (כמו למשל טיול לצרפת בשנה הבאה). המדענים מצאו שהתיאורים של אירועי העבר והעתיד האלה כללו מספר פרטים דומה, והמחשבה על שני האירועים האלה הפעילה רשת דומה של אזורים מוחיים, ובמיוחד את ההיפוקמפוס. הממצאים האלה מציעים שההיפוקמפוס פועל עם אזורים אחרים במוח כדי לאפשר לנו לזכור את העבר, וגם לדמיון את העתיד (ראו איור 2B).

חולדות משתמשות בזיכרונות מהעבר לקבלת החלטות

המחקרים שתיארנו למעלה נערכו כולם על בני אדם. חוקרים אחרים חוקרים את אותן השאלות באמצעות בחינת מיני חיות שונים. מחקרים בחיות מאפשרים למדענים למדוד את הפעילות החשמלית של תאי מוח בודדים (שנקראים **תאי עצב**, או **ניורונים**) באמצעות אלקטרודות שמוכנסות לתוך המוח. חקירת חולדות, לדוגמה, הובילה לתגלית שניורונים מסוימים בהיפוקמפוס של החולדה, שאנו קוראים להם "**תאי מקום**", ממלאים תפקיד בזיכרון של החולדה של מיקומים מסוימים. מדענים רשמו את תבנית הפעילות של תאי המקום האלה בזמן שהחולדות זזו במבוך, ואז שוב מאוחר יותר כשהחולדות הפסיקו לחקור את המבוך. הם מצאו שחלק מדפוסי הפעילות שנמדדו בתאי המקום חזרו על עצמם מאוחר יותר, בזמן שהחולדות נחו או ישנו. הממצא הזה מתאר משהו שנקרא "**replay**", כלומר **הרצה מחודשת** של הזיכרונות של אותם המקומות. זה נראה כאילו שהניורונים תרגלו את הניווט שהתרחש קודם לכן במבוך.

דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI - Functional Magnetic Resonance Imaging)

שיטה שמשמשת למדידת פעילות באזורים מסוימים במוח, במהלך מטלה מנטלית.

תא עצב/ניורון (Neuron)

סוג של תא במוח.

תאי מקום (Place Cells)

ניורונים מסוימים בהיפוקמפוס שמייצגים מיקום במרחב.

הרצה מחודשת (Replay)

הפעלה מחודשת של תבניות פעילות עצבית שמתרחשת באופן טיפוסי במהלך שינה או מנוחה.

באופן מעניין, התגלה שהזכרונות האלה גם פעלו מחדש כשהחולדה הייתה צריכה להבין כיצד להגיע למקומות מסוימים במבוך. במחקר אחד, חולדות מוקמו בתוך מבוך שבו הן יכלו לקבל תגמול (לדוגמה, מזון או מין) בצד ימין או בצד שמאל של המבוך. החולדות היו צריכות להחליט אם לפנות שמאלה או ימינה בהישמע צליל שהצביע על מיקום התגמול. כמו בניסויים הקודמים, מדענים התחילו מרישום תבניות הפעילות המוחית בהיפוקמפוס כשהחולדות נעו סביב בחופשיות, וראו אלה תאי מקום היו פעילים בכל מיקום במבוך. עם המידע הזה בידיהם, המדענים גילו שכאשר החולדה צריכה לקבל החלטה על איזה כיוון לפנות אליו, הנוירונים בהיפוקמפוס עשו "replay" של תבניות הפעילות שקשורות עם פנייה שמאלה או ימינה, כאילו שהמוח העריך את שתי האפשרויות לפני קבלת ההחלטה. הממצאים האלה מציעים שההיפוקמפוס משחזר חוויות עבר כדי לסייע בהערכת אפשרויות עתידיות [7].

תפקיד הזיכרון הוא יידוע פעולות עתידיות

אתם יכולים לראות מהמחקרים האלה שהזיכרונות שלנו של חוויות קודמות ממלא תפקיד חשוב כשאנו חושבים על העתיד ומקבלים החלטות. אולי התפתחנו כך שהזיכרונות שלנו לא רק יאפשרו להתרפק על העבר, אלא גם יסייעו לנו לחזות את העתיד ולקבל החלטות טובות יותר בהווה.

מדענים רבים מאמינים שלהיפוקמפוס יש תפקיד חשוב בקישור בין חלקים שונים של אותה חוויה, כמו גם בין חוויות שונות קשורות. כשאתם זוכרים את היום הראשון שלכם בבית הספר, אתם ככל הנראה חושבים על המראה של בית הספר, על האנשים שהיו בסביבה, על האופן שבו הרגשתם, וכדומה. חלקי החוויה האלה קשורים יחד כדי ליצור זיכרון שלם, בסיועו של ההיפוקמפוס. באופן דומה, כשאתם מדמינים את היום הראשון שלכם באוניברסיטה, אתם יכולים לזכור ולהרכיב יחד את חוויות העבר שלכם כדי ליצור תמונה חדשה במוחכם של סיטואציה שעוד לא חוויתם. היכולת המנטלית הזו "לטייל" לעבר ולעתיד שימושית במיוחד כשמקבלים החלטות. על-ידי זכירת אירועי עבר, או על ידי שילוב זיכרונות ליצירת סיטואציות חדשות במוחכם, ההיפוקמפוס (עם סיועם של אזורים אחרים במוח), יכול לספק אפשרויות פוטנציאליות שהמוח יכול לנסות. ממש כמו חולדות שמנווטות במבוך, אנו גם יכולים להשתמש בזיכרונות שלנו כדי לקבל החלטות טובות יותר. כשאתם נמצאים בצומת דרכים, בין אם אתם צריכים להחליט לאיזו מסיבה ללכת, או לאיזה בית ספר תיכון להמשיך, אתם יכולים לדמיין כל החלטה, וההדמיה המנטלית הזו יכולה לסייע לכם להעריך כיצד זה ירגיש, וכיצד כל אפשרות עשויה לסייע לכם להשיג את המטרות שלכם.

סיכום

כשאנו חושבים על זיכרון, אנו בדרך כלל חושבים על העבר. ואכן, במשך יותר ממאה שנים, חוקרי זיכרונות התמקדו באופן שבו אנשים וחיות מאחסנים זיכרונות עבר ומשחזרים אותם, ואלה מבנים במוח תומכים בתפקודים האלה. מחקר עכשווי יותר מציע מבט שונה על זיכרון. ממצאים עכשוויים מראים שההיפוקמפוס – אזור במוח שאחראי על זיכרון – פעיל כשאנשים מדמינים אירועים עתידיים. נוסף על כך במטופלים עם שיכחון, נזק בהיפוקמפוס פוגע ביכולת לדמיין את העתיד. יתרה מזו כשחולדות מנווטות בסביבה שלהן, נוירונים בהיפוקמפוס "מדמים" נתיבי עתיד שיאפשרו להן לקבל את התוצאה הרצויה. יחד, הממצאים האלה מציעים

שההיפוקמפוס והקשרים שלו לאזורים אחרים במוח, נבנים על בסיס חוויות עבר כדי לייצר חיזויים על אירועים בעתיד. הרבה לפני התגליות המדעיות האלה, ווינסטון צ'רצ'יל, ראש הממשלה של בריטניה, גם האמין שזיכרונות קולטיביים מכתיבים את חוויות העתיד של אנשים, באומרו: "לאומה ששוכחת את עברה, לא יהיה עתיד".

תודות

המחברות רוצות להודות לאנדרו גלמן, שהרצאתו בנושא תקשורת נתונים וסטטיסטיקה היוותה השראה למאמר הזה, ולדניאלה גרסיה-רוזלס על סיועה עם האיורים.

תרומת הכותבות

NB ו-DS הגו וכתבו את כתב היד.

מקורות

1. Ansburg, P. I., and Dominowski, R. I. 2000. Promoting insightful problem solving. *J. Creat. Behav.* 34:30–60. doi: 10.1002/j.2162-6057.2000.tb01201.x
2. Buckner, R. 2010. The role of the hippocampus in prediction and imagination. *Annu. Rev. Psychol.* 61:27–48. doi: 10.1146/annurev.psych.60.110707.163508
3. Schacter, D. L., Addis, D. R., and Buckner, R. L. 2007. Remembering the past to imagine the future: the prospective brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 8:657–61. doi: 10.1038/nrn2213
4. Hassabis, D., Kumaran, D., Vann, S. D., and Maguire, E. A. 2007. Patients with hippocampal amnesia cannot imagine new experiences. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:1726–31. doi: 10.1073/pnas.0610561104
5. Tulving, E. 1985. Memory and consciousness. *Can. Psychol. Can.* 26:1.
6. Addis, D. R., Wong, A. T., and Schacter, D. L. 2007. Remembering the past and imagining the future: common and distinct neural substrates during event construction and elaboration. *Neuropsychologia.* 45:1363–77. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.016
7. Johnson, A., and Redish, A. D. 2007. Neural ensembles in CA3 transiently encode paths forward of the animal at a decision point. *J. Neurosci.* 27:12176–89. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3761-07.2007

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Kathleen Y. Haaland

מנחה מדעי: Stephanie Gorman

ציטוט: Biderman N and Shohamy D (2022) מסע בזמן בתוך המוח. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00152-he

תורגם והותאם: Biderman N and Shohamy D (2020) Time Travel in the Brain. *Front. Young Minds* 7:152. doi: 10.3389/frym.2019.00152

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

COPYRIGHT © 2020 © Biderman and Shohamy 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 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.

סוקרים צעירים

14-8 גיל: EXPLORA SCIENCE CENTER AND CHILDREN'S MUSEUM

סוקרי Explora הצעירים הם קבוצה של מדענים נלהבים שעובדים עם מחנכים של המוזיאון ומנטורים מאוניברסיטת ניו מקסיקו. אנו נהנים ללמוד על המוח דרך כתבות. אנו גם אוהבים לשאול שאלות ולהציע הצעות שיכולות לסייע למדענים להפוך את עבודתם מובנת יותר לכולם! קיבלנו עזרה מהמנטורית המדעית שלנו, Jennifer Walter. לא מזמן היא קיבלה דוקטורט בניורופסיכולוגיה של ילדים. היא נהנית לעבוד עם ילדים, לשחק עם הכלב שלה ולבשל מתכונים חדשים.

הכתבות

NATALIE BIDERMAN

אני דוקטורנטית באוניברסיטת קולומביה. אני חוקרת כיצד זיכרונות משפיעים על האופן שבו אנו מקבלים החלטות, וכיצד קבלת החלטות משפיעה על הזיכרון שלנו. אני מרותקת מהיכולת שלנו לטייל עם המינד שלנו לחוויות חדשות, באמצעות הזיכרונות שמסייעים לנו. אני רוצה להבין את היתרונות וההשלכות של המסע המנטלי הזה: מה נשאר במינד שלנו, אפילו אם הוא לא נחוה בפועל, וכיצד הטיול המנטלי הזה מסייע לנו לנווט בחיינו? *natalie.biderman@columbia.edu

DAPHNA SHOHAMY

אני פרופסורית באוניברסיטת קולומביה, ניו-יורק. המחקר שלי מנסה להבין כיצד אנו לומדים מחוויות, כיצד אנו בונים זיכרונות וכיצד אנו מקבלים החלטות. תמיד הייתי סקרנית לגבי הסיבות לכך שאנשים מתנהגים איך שהם מתנהגים, ואפילו כילדה הסתקרנתי מהרעיון שלהתנהגות שלנו יש בסיס ביולוגי. אנו כל הזמן לומדים מהחוויות שלנו. מה שאנו לומדים משקף את מי שאנחנו, וגם מעצב את האנשים שנהיה בעתיד. *ds2619@columbia.edu



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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK