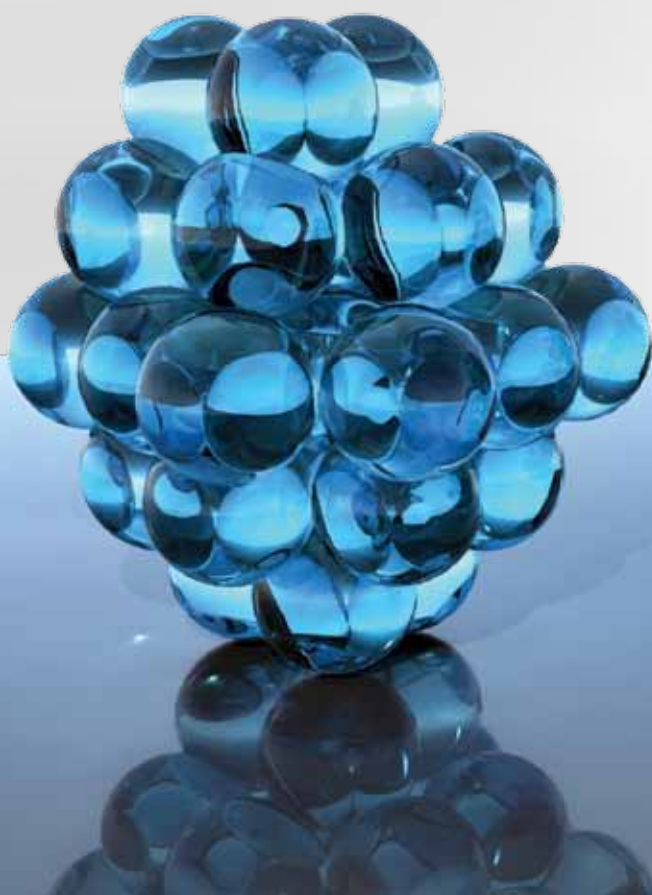




המהפכה הזעירה

בשנים הבאות הננו־מדע והננוטכנולוגיה יזקפו לזכותם
פריצות דרך חסרות תקדים שישנו את חיינו • 300 חוקרים,
שרשמו בשנים האחרונות למעלה מ־50 פטנטים,
פועלים במרכז לננוטכנולוגיה באוניברסיטת תל־אביב,
שהיה חלוץ בתחומו בישראל • המרכז מוביל עתה פרויקט
בהיקף ענק לפיתוח תרופות חכמות





חלוץ בתחומו, פורץ דרך וייחודי

המרכז לננו-מדע וננוטכנולוגיה הוקם באוניברסיטת תל-אביב לפני 12 שנה, והיה החלוץ בתחומו בישראל. המרכז פועל על-פי מודל ייחודי המעצים את הממשק בין מחקר בסיסי, מחקר יישומי ותעשייה. כיום הוא מאגד כ-300 חוקרים מתחומים שונים, ביניהם 70 מדענים מהמובילים בעולם בתחומיהם, שרשמו בשנים האחרונות יותר מ-50 פטנטים

הישראלית. על-פי עיקרון זה השקנו לאחרונה יוזמה לאומית ראשונה מסוגה: פרויקט מחקר בן 11 קבוצות, שנועד להניח תשתית טכנולוגית לתעשייה ננו-רפואית חדשנית בתוך חמש שנים בלבד."

שיתופי פעולה יצירתיים

כדי לקדם את המחקר הננוטכנולוגי באוניברסיטה, פועל המרכז בתפיסה בינתחומית, ברוח המדע של המאה ה-21. כיום הוא מאגד תחת כנפיו כ-300 חוקרים – מהם כ-70 מדענים בכירים, מהמובילים בעולם בתחומיהם – המייצגים תחומים מגוונים מכל רחבי הקמפוס: פיזיקה, כימיה, ביולוגיה, הנדסה ורפואה. לרביר פרופ' חנין, ההודמנות למפגש מפרה תחת קורת גג אחת מניבה מספר רב של שיתופי פעולה יצירתיים, שמוכילים לפיתוחים מפתיעים

"המרכז לננו-מדע וננוטכנולוגיה של אוניברסיטת תל-אביב נוסד בשנת 2000,



והיה החלוץ בתחומו בישראל. הוא מהווה ביטוי להחלטת המדינה להתמקד בננוטכנולוגיה כמדע העתיד, "אומרת ראש המרכז, פרופ' יעל חנין – שהחליפה ב-2012 את פרופ' אורי צ'שובסקי, מי שניהן בתפקיד בהצלחה רבה במשך שבע שנים. "המרכז הוקם ופועל על-פי מודל ייחודי, ללא תקדים בזירה האקדמית, שמעצים את הממשק המשולש בין המחקר הבסיסי, המחקר היישומי והתעשייה. כאן אנחנו מקדמים מחקר בסיסי על התנהגות חומרים ברמה הננומטרית של מולקולות ואטומים, מעוררים פיתוח של תגליות מדעיות לכלל יישומים מועילים, ומגשימים את התשתיות ואת תוצרי המחקר לתעשייה

חלוץ בתחומו, פורץ דרך וייחודי. 2... פרופ' יעל חנין

תוכנית חומש. 4... ד"ר דן פאר

דבקות במטרה. 6... פרופ' איתי בנהר

להרעיב את הסרטן. 8... ד"ר רונית סצ'יפאינרו

נותן בהם סימנים. 10... פרופ' דורון שבת

ננו-הלומים ואוצרות אחרים. 12... ד"ר עודד הוד

המציאות הפיזיקלית של החלבונים. 14... ד"ר רועי בקי-ברקאי

שקיפות מלאה. 16... פרופ' גיל מרקוביץ'

הספין האלקטרוני. 18... פרופ' יורם דגן

קוונטים במימד הננומטרי. 20... פרופ' ערן רבני

אור יקרות. 22... פרופ' קובי שויער

אנרגיה בזעיר אנפין. 24... פרופ' דיאנה גולורניצקי ופרופ' עמנואל פלד

המהפכה הזעירה

עורכת: אורנה כהן

עריכה: מיכל אלכסנדר

כתיבה: מיכל אלכסנדר, אוד גונדר

עיצוב: סטוריו חדר

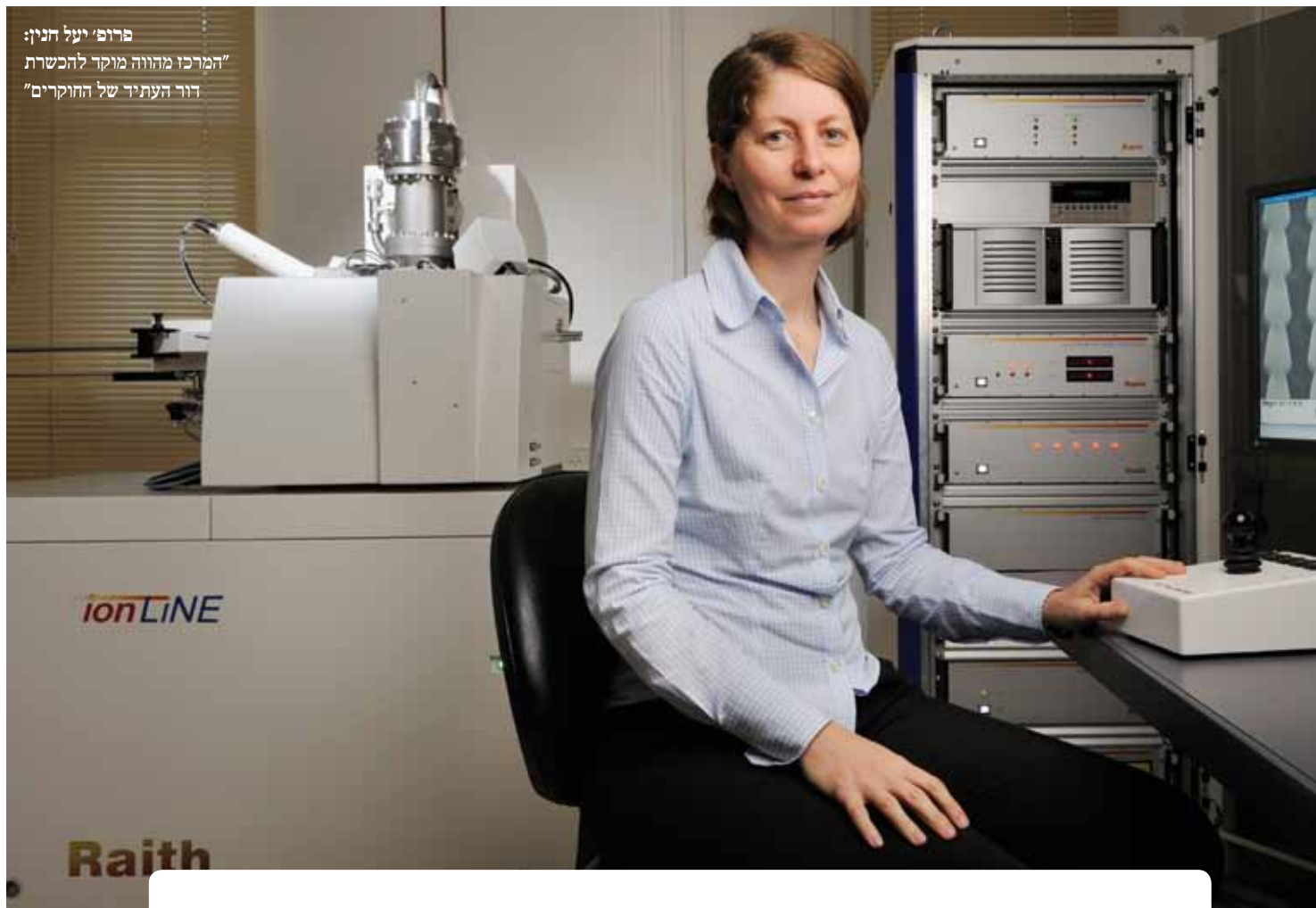
צילום: יונתן בלום

איור השער: גיא כהן, המחלקה לפיזיקה כימית, אוניברסיטת תל-אביב

בשער: שני ננו גבישים. לגביש הימני הוספו אילוחים, המשנים את תכונותיו הפיזיקליות.

עריכה לשונית: ספי שפר

פרופ' יעל הננין:
"המרכז מהווה מוקד להכשרת
דור העתיד של החוקרים"



הניתנים על-ידי צוות מהנדסים
וחוקרים, מומחים בתחומם.

החוכרת שלפניכם חושפת את פירות
עמלם של 12 חוקרים מובילים,
המייצגים את המגוון הרחב של הפעילות
במרכז לננו-מדע וננוטכנולוגיה של
אוניברסיטת תל-אביב.

פרופ' יעל הננין היא ראש המרכז לננו-מדע וננוטכנולוגיה
של אוניברסיטת תל-אביב, פרופסור חבר בבית הספר
להנדסת חשמל, ומנהלת אקדמית שותפה של תשתיות הננו
והמיקרו של האוניברסיטה. פרופ' הננין היא פיזיקאית שעומדת
בראש קבוצת מחקר בתחום ההנדסה העצבית, המתמקדת
בפיתוח ננו-התקנים אלקטרוניים – במיוחד התקנים שיוצרים
ממשק עם תאי מוח. היא מכהנת כסמנכ"ל בחברת ההזנק
הישראלית 'ננו-רטינה', המפתחת שתל רשתית. ב-2009 נבחרה
פרופ' הננין כמדען צעיר מצטיין לכנס מדענים צעירים של
הפורום הכלכלי העולמי, והחל מ-2010 היא חברה באקדמיה
העולמית הצעירה. ב-2012 זכתה פרופ' הננין במענק יוקרתי
מטעם מועצת המחקר של האיחוד האירופי (ERC - European
Research Council).

רישיונות לחברות מסחריות, והם
נמצאים בשלבים שונים של פיתוח
מוצר. ביניהם: נשאי תרופות
שמנוטים את דרכם היישר אל האתר
הפגוע בגוף; חיישנים ביולוגיים
וכימיים רגישים במיוחד; מוליכים
שקופים וגמישים המיועדים לדור
חדש של מכשירים אלקטרוניים;
מתקנים יעילים לאגירת אנרגיה;
תאים פוטו-וולטאיים חכמים לייצור
חשמל מאנרגיית השמש; ותאי דלק
המאפשרים שימוש באנרגיה ירוקה.

לצד המדענים, פותח המרכז את שעריו
בפני אנשי התעשייה הישראלית,
ומשמש עבורם כמרכז ידע ארצי בתחום
הננוטכנולוגיה. הוא מנגיש לתעשיינים
תשתיות מחקר מתקדמות ומעבדות
מהמשוכללות בעולם, לצד פיתוחים
מדעיים פורצי דרך. יותר מ-30 חברות
ישראליות מובילות בתחומי ההייטק
והביוטכנולוגיה נעזרות היום בשירותיו,

וחדשניים. לדבריה, "כמה מהחוקרים
הם מדענים חוזרים, צעירים ומבטיחים,
שגויסו למרכז ממוסדות מחקר חשובים
בחו"ל, במסגרת משימה לאומית להשבת
המוחות המצטיינים לארצנו."

המרכז לננו-מדע וננוטכנולוגיה מהווה
מוקד להכשרת דור העתיד של חוקרים
ישראלים בתחום הננוטכנולוגיה,
שיתרום רבות לעיצוב עולמנו בעשורים
הבאים. מאות סטודנטים מצטיינים
לתארים מתקדמים עורכים כאן את
מחקריהם, בעזרת התשתיות והמלגות
שמספק המרכז. עם סיום לימודיהם
מגיעים רבים מהם למשרות בכירות
בעולם ההייטק והביוטכנולוגיה.

בחמש השנים האחרונות רשמו חוקרי
המרכז יותר מ-50 פטנטים בתחומים
כמו ננו-רפואה, אלקטרוניקה,
ביוטכנולוגיה, מטלורגיה ואופטיקה.
עבור שמונה מתוכם כבר הונפקו



תוכנית חומש



"הפרויקט שלנו הושק ב־2012, והוא מהווה מאמץ מחקרי ממוקד מסוג חדש, שלא היה כמותו בישראל עד היום," אומר ד"ר פאר. "מטרתנו היא לבסס תשתית טכנולוגית חדשה בתחום הננו־רפואה, שתהיה זמינה למסחור וליישום תעשייתי כבר בעוד חמש שנים – תקופה קצרה מאוד במונחים של מחקר מדעי. לשם כך בחרנו 11 צוותי מחקר (מהם שמונה באוניברסיטת תל־אביב), המפתחים קשת רחבה של אסטרטגיות בתחום מתקדם ומרתק: חלקיקים זעירים שמובילים תרופות ואמצעי הדמיה ישירות ליעדם בתוך גוף האדם. העבודה שלנו מעוררת כבר היום התעניינות רבה בקרב חברות גדולות לתרופות."

הקבוצות המשתתפות בפרויקט החדשני מתמחות במגוון תחומים: סינתזה כימית ופולימרים, הנדסת נוגדנים, מערכת החיסון, שימוש בחלקיקים ממקור ביולוגי, ביולוגיה תאית, הדמיה וקרדילוגיה. מחקריהן עוסקים בטווח רחב של מחלות, בעיקר מחלות הכרוכות בחוסר או בעודף כלי דם, ובמחלות הקשורות למערכת החיסון – כמו סוגים שונים של גידולים סרטניים וסרטן הדם, התקפי לב, תהליכים דלקתיים ומחלות נגיפיות שתוקפות את מערכת החיסון, ביניהן איידס. הפרויקט זוכה לתמיכה משמעותית מממשלת ישראל, במסגרת Israel National Nanotechnology Initiative (INNI) – יוזמה לאומית ישראלית

ד"ר דן פאר מהמחלקה לחקר התא

ואימונולוגיה מוביל מאמץ מחקרי מסוג חדש, במטרה לפתח מערכות ננומטריות להובלת תרופות, שייתנו מענה למגוון רחב של מחלות. הפרויקט, המקיף 11 מעבדות, יבנה תשתית טכנולוגית, שתהיה זמינה למסחור וליישום תעשייתי כבר בעוד חמש שנים. העבודה מעוררת כבר היום עניין רב בקרב חברות תרופות גדולות



לננוטכנולוגיה, שמטרתה להקים ולקדם מרכזי ננו במסדרות מחקר ישראליים.

שותפיו לפרויקט של ד"ר פאר באוניברסיטת תל-אביב הם: פרופ' אהוד גזית מהפקולטה למדעי החיים, כיום המדען הראשי של משרד המדע, פרופ' איתי בנהר ופרופ' רמונה מרגלית מהפקולטה למדעי החיים, פרופ' דורון שבת ופרופ' משה פורטנוי מבית הספר לכימיה, ד"ר רונית סצ'י-פאירו מבית הספר לרפואה ופרופ' יונתן ליאור מהפקולטה לרפואה ומהמרכז הרפואי שיבא. בנוסף, שותפות בפרויקט ד"ר גליה בלום מבית הספר לרפואה בהדסה עין כרם, ד"ר איילת דוד מבית הספר לרפואה באוניברסיטת בן גוריון ופרופ' שולמית מיכאלי מאוניברסיטת בראילן.

הובלת תרופות אל דלקות במעי

תחת הגג הכולל של הפרויקט הננו רפואי, מתמקדת קבוצת המחקר של ד"ר פאר בתחום המחלות הדלקתיות של המעי, כמו קרוהן וקוליטיס. במעבדתו פועל צוות רבת-חומי המונה 18 חוקרים – מהנדסים, ביוטכנולוגים, פיזיקאים, ביולוגים, כימאים ווטרנרית, ומשתף פעולה עם רופאים וכירורגים רבים במרכזים הרפואיים שיבא, רבין ותל-אביב (איכילוב), ועם המרכז הגדול למחלות מעי שבאוניברסיטת קלגרי בקנדה. "בהיבט הטכנולוגי אנו מפתחים אסטרטגיה להובלת תרופות ואמצעי אבחון ננומטריים אל דלקות במעי", מסביר ד"ר פאר. "הטכנולוגיה שלנו מתבססת על חלקיקים בקוטר ננומטרי המצופים בנוגדנים. הנוגדנים הללו מכירים תאים ממערכת החיסון המצויים בורם הדם, ש'נקראים' אל האזור הנגוע בגוף, ומתבייתים עליו. תאים כאלה יכולים, על-פי תפיסתנו, לשמש כמערכות גיוס, מעין GPS, שינחו את החלקיקים הננומטריים ישירות אל היעד. על סמך גישה זו אף פיתחנו שיטה לאבחון מחלות מעי דלקתיות, שאינה פולשנית כמו הטכניקות המקובלות של

קולונוסקופיה וגסטרוסקופיה: הזרקנו למחזור הדם של חיות מעבדה חלקיקים ננומטריים מסומנים, שהתבייתו על תאי מערכת החיסון שבהם, 'נסעו' איתם אל התאים החולים במעי וסימנו אותם עבור מערכות ההדמיה. בשימוש מורחב יכולים חלקיקים כאלה גם לשאת ולשחרר תרופות."

להשתיק גנים מזיקים

כדי למלא טווח רחב של משימות, מפתחים ד"ר פאר וצוותו נשאים ננומטריים במגוון גדלים וסוגים, המותאמים למחלות ולמטלות שונות. כל הנשאים המיוצרים במעבדה מבוססים על שילובים של חומרים ביולוגיים – שומנים, סוכרים וחלבונים. כך, לדוגמה, גילו החוקרים כי השומנים כולאים בתוכם ביעילות תרופות ואמצעי הדמיה, בעוד שציפוי של סוכרים מונע הידבקות של החלקיקים זה לזה. החלבונים הם בעיקר נוגדנים וליגנדים, שמתחברים אל פני השטח של החלקיקים, מנווטים אותם אל תאי היעד, וגם מסייעים להם לחדור לתוכם.

אך ד"ר פאר אינו מסתפק בפיתוח של נשאי תרופות חכמים... "קבוצות מחקר רבות בכל העולם מפתחות היום נשאי תרופות ננומטריים מסוגים ומחומרים שונים", הוא אומר. "הייחוד במעבדה שלי הוא שאנו משלבים טכנולוגיה עם ביולוגיה. יש לנו צוות ביולוגי ייעודי, שמחפש גם את התרופות עצמן, והשילוב הזה מעניק למחקר שלנו עוצמה מיוחדת." הביולוגים שבחבורתו של ד"ר פאר מפתחים תרופות בגישה חדשנית בזכות עצמה: במקום להרוג את התאים הדלקתיים, הם מבקשים לחולל בהם שינוי ולהפוך אותם לתאים נוגדי-דלקת. וחידוש נוסף: החוקרים יבחנו דגימות מרקמות של חולים בטכניקה של ריצוף גנטי עמוק, באמצעות מכשור מתקדם במיוחד שנמצא באוניברסיטת תל-אביב. ככוונתם לאתר את הגנים הפגועים, לבחון את ה-RNA שלהם,

ד"ר דן פאר הוא מחלוצי השימוש במולקולת RNA למניפולציה של לויקוציטים במחלות שונות הקשורות לתאי מערכת החיסון. הוא גויס ב-2008 מאוניברסיטת הרווארד לאוניברסיטת תל-אביב על מנת להקים את המעבדה לננו-רפואה. יש לו מינויים אקדמיים בבית הספר לרפואה של אוניברסיטת הרווארד בבוסטון, מסצ'וסטס, ובמכון המחקר לסרטן ביוסטון, טקסס. ד"ר פאר פרסם למעלה מ-55 מאמרים ופרקים בספרים, ומכהן כעורך של שלושה כתבי-עת חשובים בתחום של מערכות להובלת תרופות, כחבר בפאנל המדעי של חמישה כתבי-עת נוספים וכיועץ מדעי בכמה חברות הונק וחברות פארמה גדולות בישראל ומחוצה לה. הוא הגיש כ-40 המצאות לרישום פטנטים, שחלקן אושרו ואף מוסחרו במספר חברות, וייסד שתי חברות הונק: Leuko Bioscience שממוקמת בבוסטון, ו-Quiet Therapeutics הישראלית.

ולפתח עבורם תרופות מסוג חדש הקרויות small interfering RNA (siRNA), שמסוגלות להשתיק את הביטוי של הגנים הפגומים. הקבוצה של ד"ר פאר היא חלוצה עולמית בכל הנוגע למניפולציות בתאי מערכת החיסון באמצעות מולקולות siRNA. בעתיד תאפשר השיטה להתאים לכל חולה תרופה אישית, שהיא היעילה ביותר עבורו.

"הטכנולוגיות והתרופות שאנחנו מפתחים יוכלו לשמש בעתיד לטיפול במגוון רחב של מחלות: מדלקות במעי, פסוריאזיס וארתריתיס, ועד לסוגים שונים של סרטן הדם – לוקמיות, לימפומות ומיאלומות, צופה ד"ר פאר. "לכל מחלה ולכל חולה ניתן יהיה לבנות ננו-חלקיק שונה, מותאם במיוחד למצב ולצרכים הספציפיים. התוצאות עד כה מבטיחות ביותר, ושתי חברות הונק כבר הוקמו על בסיס עבודתנו: Leuko Bioscience הממוקמת בבוסטון, ארה"ב, מתמקדת בתחום של סרטני דם, וכבר ערכה ניסויים קליניים ראשוניים בבני אדם, שהוכתרו בהצלחה מרשימה; ו-Quiet Therapeutics, חברה ישראלית המתמקדת בסרטן, וצפויה להגיע במהלך השנתיים הקרובות לשלב הניסויים הקליניים".

דבקות במטרה

התרופות שאנו נוטלים הן לעיתים קרובות אליה וקוץ בה. הן נלחמות בגורמי המחלה, אך בה בעת הן מציפות את הגוף כולו, ומשפיעות גם על אזורים בריאים לחלוטין. צוות המחקר של **פרופ' איתי בנהר** במחלקה למיקרוביולוגיה מולקולרית וביוטכנולוגיה מפתח נשאי תרופות ננומטריים מוכוונים, שיובילו את התרופות אך ורק אל המקומות שזקוקים להן



"תרופות מוכוונות מטרה הן אחד התחומים המובילים והמרתקים ביותר ברפואה המודרנית", אומר פרופ' בנהר. "כיום נמנעים הרופאים משימוש בתרופות יעילות רבות – החל בסוגי אנטיביוטיקה מסוימים וכלה בחומרים כימותרפיים – מכיוון שהן אינן סלקטיביות, ורעילות גם לתאי הגוף הבריאים. תרופות מוכוונות מטרה מיועדות להתביית ולפעול אך ורק על מולקולות מטרה מסוימות, ולרפא את המחלה מבלי לגרום לתופעות לוואי חמורות ואף קטלניות. במעבדה שלנו אנו מפתחים נשאי תרופות מוכוונים בעלי מבנה מודולרי, שיכולים לשאת תרופות מסוגים שונים אל מגוון רחב של תאי מטרה, כולל תאים סרטניים, פטריות וחידקים מחוללי מחלות."

טילים מונחי מטרה

הבסיס לנשאי התרופות של פרופ' בנהר הם הבקטריופאג'ים – נגיפים (וירוסים) זעירים, אשר מתאכסנים באופן טבעי בחידקים. הבקטריופאג' נבחר למשימה מכיוון שזהו נגזר חלקיק נפוץ ונגיש, שקל לייצרו במערכת ביולוגית פשוטה



פרופ' איתי בנהר מהמחלקה למיקרוביולוגיה מולקולרית וביוטכנולוגיה בפקולטה למדעי החיים הוא מרען בעל מוניטין עולמי בתחום הנדסת הנוגדנים. בשנים 2007–2011 כיהן כראש המחלקה. קבוצת המחקר שלו עוסקת בפיתוח ובשכלול טכנולוגיות חדשות לבידור נוגדנים חדשים, לשכלול נוגדנים קיימים ולשילובם של נוגדנים במערכות מתקדמות לשיגור תרופות ובחיישנים ביולוגיים. פרופ' בנהר פרסם למעלה מ-80 מאמרים ופרקים בספרים, הגיש 10 המצאות לרישום פטנטים, וכיהן כיועץ מדעי במספר חברות הזנק בתחום הביוטכנולוגיה בישראל.

כדי לבחון את יעילות השיטה, פיתחו החוקרים באוניברסיטת תל-אביב מגוון מערכות, שכללו אנטיביוטיקה מסוג כלורמפניקול, מספר סוגים של חידקים מחוללי מחלות (סטפילוקוקוס אאוראוס, סטרפטוקוקוס פיוגנס ואשריכיה קולי) ונוגדנים המתאימים לכל אחד מהחידקים הללו. הם ערכו קשת רחבה של ניסויים, והוכיחו כי הטכנולוגיה אכן מתאימה לטיפול בטווח רחב של תאי מטרה מחוללי מחלות.



במעבדה שלנו אנו מפתחים נשאי תרופות מוכוונים בעלי מבנה מודולרי, שיכולים לשאת תרופות מסוגים שונים אל מגוון רחב של תאי מטרה

בשנתיים האחרונות בוחנת קבוצת המחקר את יעילות השיטה כנגד פטריות פתוגניות. המחקר, המתבצע בשיתוף עם פרופ' ניר אושרוב מהמחלקה למיקרוביולוגיה קלינית ואימונולוגיה בבית הספר לרפואה של אוניברסיטת תל-אביב, מתמקד בפטרייה הקרויה אספרגילוס פומיגאטוס, שגורמת לדלקות ריאה קשות בחולים בעלי מערכת חיסון מוחלשת. "אנחנו מאמינים שבקרוב נוכל להדגים את יעילותם של נשאי תרופות ננומטריים מוכוונים גם במודל הזה", מסכם פרופ' בנהר. ●





ד"ר רותית סצייפאינר מכהנת כראש המעבדה לחקר אנגיוגנזה בסרטן ונגר ביורפואה, כמרצה בכירה במחלקה לפרמקולוגיה ולפיזיולוגיה בפקולטה לרפואה ע"ש סאקלר באוניברסיטת תל-אביב, וכפרופסור אורח בבית הספר לרפואה של אוניברסיטת הרווארד ובבית החולים לילדים בבוסטון. בנוסף, היא משמשת כיועצת למספר חברות ביוטכנולוגיות ישראליות ובינלאומיות, וכנשיאה של האגודה הישראלית לשחרור מבוקר של ביורחומרים. היא פרסמה 42 מאמרים, הייתה שותפה בפיתוחם של 16 פטנטים, וכתבה במספר רב של מלגות ובפרסים בינלאומיים יוקרתיים, ביניהם פולברייט, רוטשילד, וינגייט, אלון ויילורן.

להרעיב את הסרטן

גידולים סרטניים אינם יכולים להתפתח ולשלוח גרורות ללא מערכת תומכת ומזינה של כלי דם. צוות המחקר של ד"ר רונית סצי'פאינרו בפקולטה לרפואה מפתח תרופות ננומטריות, המובילות היישר אל הגידול הסרטני במטרה לפגוע בהתפתחות כלי הדם המזינים אותו

החומר הדרוש קטנה במידה רבה מזו המוחדרת לגוף בטיפולים כימותרפיים מקובלים – ולכן הטיפול רעיל פחות, תופעות הלוואי מינימליות, וניתן להיעזר בתרופה במשך תקופות ארוכות. שנית, בשל הכמות המועטה ומנגנון הכניסה לתא, השונה מזה של התרופות החופשיות, הסרטן נוטה פחות לפתח עמידות לתרופות, והן נותרות יעילות לאורך זמן. ושלישית, השילוב של מספר חומרים תרופתיים התגלה כיעיל יותר כנגד הגידול בהשוואה לתרופה יחידה.

"אנו מאמינים שטיפולים כאלה, באמצעות טכנולוגיה ננומטרית, יוכלו לשמור על גידולים פוטנציאליים

במצבן הרדום?" שאלות אלה עומדות במרכז עבודתה של קבוצת המחקר הרב-תחומית של ד"ר סצי'פאינרו, הכוללת 15 חוקרים מתחומי הכימיה, הביולוגיה, ההנדסה, מדע החומרים והרפואה.

'מונית' ננומטרית אל הגידול הסרטני

במאמץ משותף ומקיף מפתחים חוקרי המעבדה נשאי תרופות בממדים ננומטריים, המובילים מבחר חומרים אפקטיביים בכמויות זעירות, ישירות אל הגידול הסרטני. ה'מוניות' הננומטריות, העשויות מפולימרים, משוטטות במחזור הדם ואינן יכולות 'לדלוף' מתוך כלי דם תקינים ושלמים. לעומת זאת, כלי הדם החדשים, שנבנו בחיפזון באזור

"אנגיוגנזה, יצירת כלי דם חדשים מכלי דם קיימים, היא תופעה שמתרחשת באופן תקין בעיקר אצל עוברים במהלך התפתחותם", מסבירה ד"ר סצי'פאינרו. "אצל אדם בוגר בריא נוצרים כלי דם חדשים רק במצבים מסוימים, כמו פציעה, מחזור חודשי או הריון. לעומת זאת, קיימות לפחות 70 מחלות הקשורות לאנגיוגנזה פתולוגית, ובהן גידולים סרטניים." כשמדובר בסרטן, יצירת כלי דם חדשים היא למעשה תנאי להתפתחותו ולשגשוגו של הגידול. כלי הדם הם שמספקים לו חמצן ומזון, והחיבור לכלי הדם מאפשר לתאים סרטניים לחדור למחזור הדם, לנדוד למקומות אחרים בגוף ולייצר גרורות. מחקרים רבים בעולם מראים שבכני אדם בריאים, מכל שכבות הגיל, קיימים מוקדים מיקרוסקופיים של גידולים סרטניים רדומים, בגודל 1-2 מ"מ, אך רובם המכריע לעולם לא יהפכו לגידולים ממאירים – מהסיבה הפשוטה שהם אינם מסוגלים לגרום ליצירת כלי דם חדשים שיוזנו אותם.

"הגידולים נותרים רדומים כל עוד אינם מגייסים כלי דם", קובעת ד"ר סצי'פאינרו. "השאלה העיקרית שאנו מציבים במחקרינו היא: מה גורם לשינוי? איך ומתי מתחיל הגידול לגייס כלי דם, שמאפשרים לו לגדול ולשלוח גרורות? וחשוב מכל: האם התהליך הפיך? כלומר, כיצד ניתן לעצור את יצירת כלי הדם, 'להרדים' שוב גידול שכבר 'התעורר', או לשמר גרורות

במאמץ משותף ומקיף מפתחים חוקרי המעבדה נשאי תרופות בממדים ננומטריים, המובילים מבחר חומרים אפקטיביים בכמויות זעירות, ישירות אל הגידול הסרטני

במצבם הרדום, ולמנוע התפתחות של גידול סרטני ו/או גרורות ממאירות", אומרת ד"ר סצי'פאינרו. "גישה כזו עשויה לשנות לחלוטין את אופן הטיפול בסרטן: אנשים המצויים בקבוצות סיכון, חולים שהחלימו מסרטן וחוששים מחזרתו, וגם חולים בשלב מוקדם יחסית של המחלה, יוכלו לקבל טיפול נוח, ללא תופעות לוואי – שימנע את הופעת המחלה, או יהפוך אותה למחלה כרונית, שניתן לחיות איתה, באיכות חיים טובה, לאורך שנים רבות." ●

הנגוע, הם חריינים, והנשאים זולגים מתוכם אל הגידול הסרטני, ועמם מטען מגוון של תרופות יעילות: חומרים שנועדו לעכב יצירת כלי הדם חדשים, תרופות כימותרפיות ואנטי-דלקתיות, וכן חומרים ביולוגיים חדשניים מסוג siRNA, שמסוגלים להשתיק גנים המעורבים בתהליך הסרטני.

במגוון ניסויים הראו החוקרים כי למערכות ננומטריות מסוג זה יש כמה וכמה יתרונות חשובים: ראשית, כמות



פרופ' דורון שבת מבית הספר לכימיה באוניברסיטת תל-אביב מוביל קבוצת מחקר בתחום של כימיה ביאורגנית. במסגרת מחקריו פיתחה קבוצתו מערכות מולקולריות חדשניות לשחרור מבוקר של תרופות באתר המטרה, ולאבחון ביורפואי וזיהוי גורמי מחלות. פרופ' שבת פרסם למעלה מ-70 מאמרים מדעיים ופרקים בספרים נבחרים.



נותן בהם סימנים

שרידי תאים סרטניים עלולים לגרום להתפתחות מחודשת של הגידול לאחר ניתוח להסרת הסרטן. **פרופ' דורון שבת** מבית הספר לכימיה משתמש בטכנולוגיות ננומטריות כדי לפתח חיישנים שיסמנו את התאים הממאירים, ויאפשרו למנתח להסיר את כולם



”כשמנתח ניגש להסיר גידול סרטני, הוא עומד בפני התלבטות קשה: האם הצליח לחתוך ולהרחיק את כל התאים הסרטניים? איך ניתן להבחין היכן בדיוק מסתתרים הגידול, מבלי לסכן את החולה בהסרת תאים בריאים?” אומר פרופ' שבת. ”כדי לסייע לרופאים, ולתת מענה חד משמעי לשאלות הקריטיות הללו, אנחנו מפתחים שיטות אבחון שיוכלו לסמן תאים ממאירים באמצעות הרמיה אופטית.”

החוקרים בקבוצתו של פרופ' שבת נעזרים בשיטות ננוטכנולוגיות כדי לבנות מולקולות אורגניות מסוג חדש, שיוזרו לגופו של החולה ויתפקדו כחיישנים. החיישנים הייחודיים יצוידו במנגנון הדלקה – חומר שמוזהה את גורם המחלה, ואז יוצר במולקולה אינטראקציה שגורמת לה לפלוט אור באורך גל מסוים. המנתח, שיבחין באור, יידע היכן מצויים עדיין תאים ממאירים, ויוכל לסלקם באופן מלא.



החוקרים בקבוצתו של פרופ' שבת נעזרים בשיטות ננוטכנולוגיות כדי לבנות מולקולות אורגניות מסוג חדש, שיוזרו לגופו של החולה ויתפקדו כחיישנים

בדרך אל היעד הזה מתמודד צוות המחקר עם שני אתגרים מרכזיים: האחד הוא בניית 'המתג' – אזור קטן ככל האפשר במולקולה שיביא לפליטת אור בעקבות מגע עם גורם המחלה; והשני הוא שליטה באורך הגל של האור הנפלט – שחייב להיות בתחום שאינו נבלע או נפלט על-ידי הרקמות בסביבה, כלומר בטווח של 600-900 ננומטר, קרוב לתחום האינפרא-אדום.

הפתרון שמפתח פרופ' שבת מבוסס על תכנון הנדסי כימי חדשני של מולקולה פלורסנטית. ”עד היום היה מקובל לבנות מולקולות פלורסנטיות משני אזורים: אזור שתורם אלקטרון (Donor), ואזור שקולט את האלקטרון (Acceptor)”, אומר פרופ' שבת. ”אנחנו, לעומת זאת, בונים משולש – מולקולה שיש בה תורם אחד ושני אזורים מקבלים, שאינם קשורים זה לזה. קבוצת ההגנה, הלא היא 'המתג', קשורה לאזור התורם, וכל עוד היא



החיישנים הייחודיים יצוידו במנגנון הדלקה – חומר שמוזהה את גורם המחלה, ואז יוצר במולקולה אינטראקציה שגורמת לה לפלוט אור באורך גל מסוים

במקומה – אין תאורה. עם הסרת המתג עובר אלקטרון מהתורם אל אחד המקבלים, שמתחיל לפלוט אור.” בדרך זו ניתן לייצר ספרייה מודולרית של חומרים שונים, בעלי מאפיינים שונים, המתאימים למגוון יישומים. כך, לדוגמה, חומרים המאופיינים ביציבות לטווחי זמן שונים יכולים להתאים לסוגים שונים של בדיקות.

על מנת להוביל את מולקולות הסמן אל המקום בגוף בו מתבצע האבחון, נדרשות מולקולות נשא. לצורך זה משתף פרופ' שבת פעולה עם פרופ' רונית סצ'פאיינר מבית הספר לרפואה, שמפתחת נשאים פולימריים ביו-רפואיים בממדים ננומטריים. עד כה הצליחו החוקרים להציג תוצאות משמעותיות במודל של דלקת בעכברי מעבדה: החיישן הכבוי הוזרק לעכברים בהם הושרתה דלקת, והמתג המונע את פליטת האור הוסר באזור הדלקת על-ידי ROS (Reactive Oxygen Species) – רדיקלים מחמצנים המאפיינים מצב דלקתי. כך ניתן היה לצפות בדלקת באמצעות טכנולוגיות הרמיה מקובלות.

כעת מבקש פרופ' שבת להרחיב את יכולותיה של השיטה, על מנת שתוכל לזהות ולסמן גידולים סרטניים – תחילה בחיות מעבדה, ובהמשך בבני אדם. בעתיד צפויה הטכנולוגיה החדשנית להתאים במיוחד לזיהוי מדויק של תאי סרטן השד וסרטן העור. ●

ננו־הלומים ואוצרות אחרים

חומרים רבים מגלים תכונות פיזיקליות מפתיעות בממדים הננומטריים. **ד"ר עודד הוד** מבית הספר לכימיה מבצע חישובים מתקדמים ומיישם את התכונות המיוחדות הללו במגוון פיתוחים עתידיניים - ביניהם 'אף אלקטרוני' רגיש במיוחד, התקנים סולאריים יעילים ומערכת הנחיה לכלי טיס זעיר כיתוש



"בממדים הננומטריים מגלים חומרים רבים תכונות פיזיקליות מפתיעות,

שמרתקות אותי כמדען, ואף עשויות להניב מגוון יישומים חדשניים," אומר ד"ר הוד. "במעבדה שלי אנו חוקרים מבנים בקנה מידה זעיר של אטום בודד עד עשרות או מאות אטומים, ובוחנים מגוון רחב של תכונות: תכונות מכניות, אלקטרוניות, מגנטיות ואופטיות, לצד הולכת חשמל." במסגרת המחקר מבצעים החוקרים חישובים מדויקים ומורכבים על אודות תכונות החומרים הננומטריים, באמצעות אשכול המחשבים הגדול מסוגו באוניברסיטת תל-אביב, המריץ למעלה מ-300 ליבות עיבוד בתצורת תקשורת מהירה תחת מערכת ההפעלה לינוקס.

אף אלקטרוני

באחד הפרויקטים מפתחים החוקרים גלאים כימיים אולטרה-רגישים, המבוססים על גרפן - מבנה ננומטרי של פחמן, בדמות יריעה דקה וארוכה בעובי של אטום בודד. חישון כזה יהווה מעין 'אף אלקטרוני' שמסוגל לזהות אפילו מולקולה בודדת של חומר הנישא באוויר. גלאי חומר נפץ מסוג זה יוכל, למשל, לאתר מולקולה של TNT, ולהעיד על קיומה באמצעות שינויים בהולכה החשמלית של הגרפן. במסגרת המחקר מנסים החוקרים לחשב במדויק

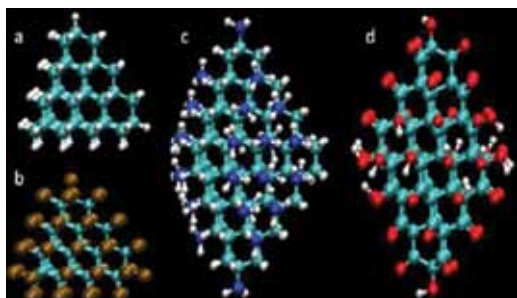
את השינויים שיתחוללו בתכונות הגרפן כתוצאה מספיחה של מולקולות זרות.

ננו־הלומים

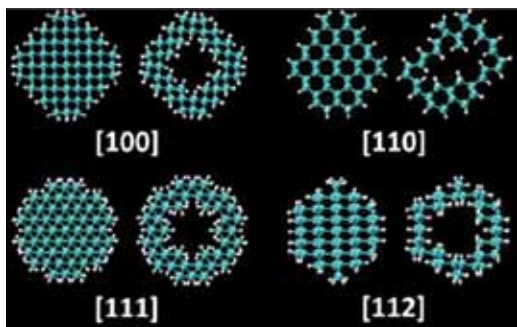
במחקר אחר בוחן הצוות אפשרות לשלוט בתכונות החשמליות של מבנים זעירים במיוחד - ננרצינוריות סיליקון וננו־הלומים - באמצעות קשירה כימית של אטומים או מולקולות אל פני השטח שלהם. התקנים סולאריים שיעשו שימוש בננרצינוריות הסיליקון יוכלו בעתיד לנצל טווח רחב בהרבה של קרינת השמש, בהשוואה לטכנולוגיות המקובלות היום.

הננו־הלומים, לעומת זאת, עשויים לשמש כסמנים ביולוגיים מדויקים ביותר, שיאפשרו הרמיה ואבחון רפואי באיכויות שאינן מוכרות לנו כיום. וחיידוש מהפכני נוסף: שיטות מתקדמות שמפתחים החוקרים לחישוב ההולכה החשמלית של מולקולות בודדות, עשויות לסלול את הדרך לאלקטרוניקה מולקולארית - טכנולוגיה שבה מולקולות ספורות יחליפו רכיבים מבוססי סיליקון שאנו מכירים היום.

בעבודה נוספת, בשיתוף עם פרופ' ארנסטו יוסלביץ' ופרופ' ליאור קרוניק ממכון ויצמן, בוחן ד"ר הוד את התכונות המכניות של ננרצינוריות של החומר בורון-ניטריד, שגודלן



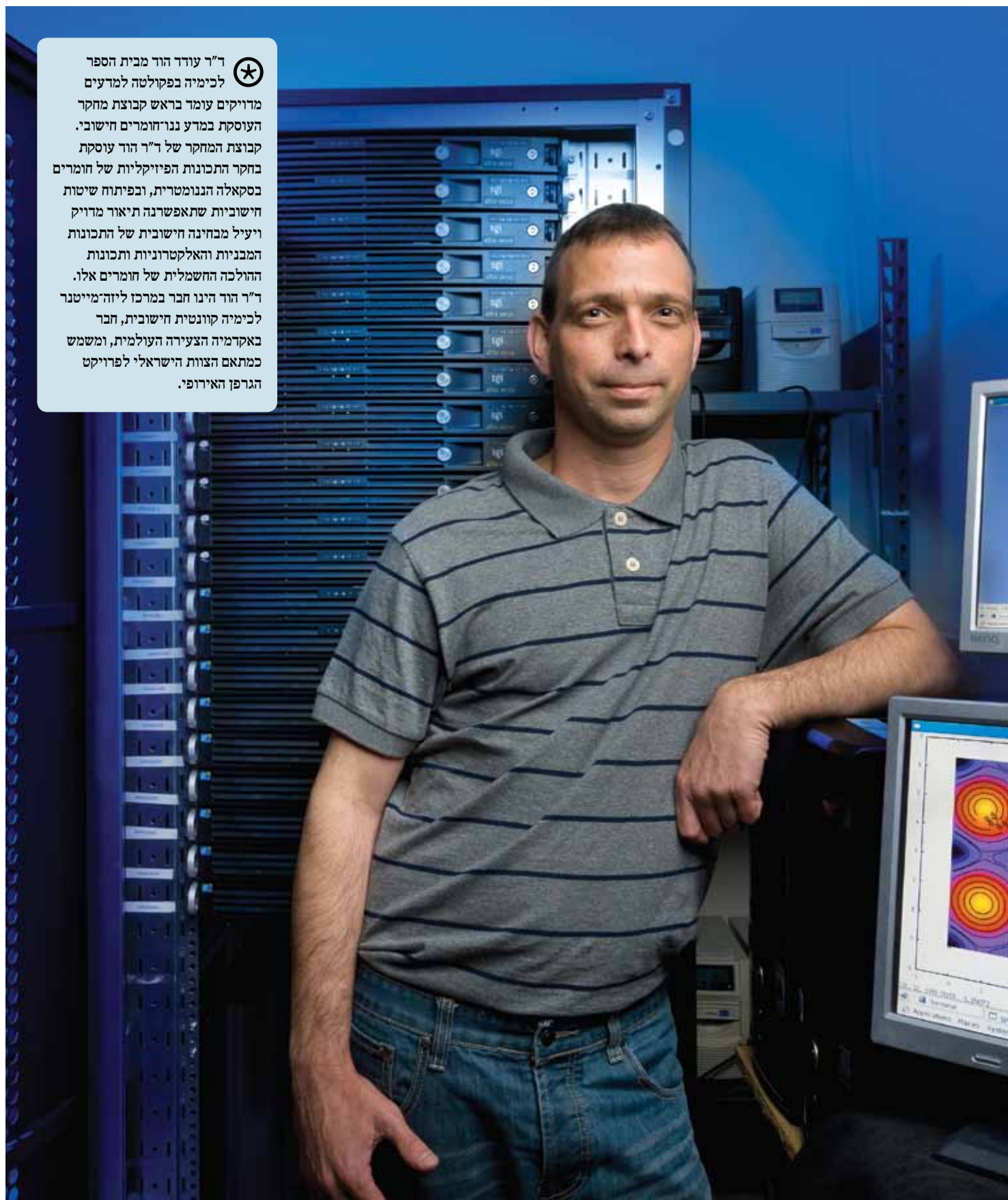
ננו־הלומים בעלי ציפויים כימיים שונים - הרמיה ואבחון רפואי באיכות שלא הכרנו



ננרצינוריות סיליקון - ניצול טווח רחב של קרינת השמש

אטומים בודדים. החוקרים מבקשים להבין כיצד משפיעים מאמצי פיתול על התכונות האלקטרוניות של הצנוריות הזעירה. ממצאיהם עשויים לשמש בעתיד, בין היתר, לפיתוח ג'רוסקופ ננומטרי למערכות הנחיה בכלי טיס זעירים כיתוש.

ד"ר עודד הוד מבית הספר לכימיה בפקולטה למדעים מדויקים עומד בראש קבוצת מחקר העוסקת במדע נגזרים חיוניים. קבוצת המחקר של ד"ר הוד עוסקת בחקר התכונות הפיזיקליות של חומרים בסקאלה הננומטרית, ובפיתוח שיטות חיוניות שתאפשרנה תיאור מדויק ויעיל מבחינה חיונית של התכונות המבניות והאלקטרוניות ותכונות ההולכה החשמלית של חומרים אלו. ד"ר הוד הינו חבר במרכז ליוזמיטנר לכימיה קוונטית חיונית, חבר באקדמיה הצעירה העולמית, ומשמש כמתאם הצוות הישראלי לפרויקט הגרפן האירופי.





המציאות הפיזיקלית של החלבונים

"הכל פיזיקה", אומר ד"ר רועי בק-ברקאי. במעבדתו שבמרכז לננוטכנולוגיה וננו-מדע הוא בנה את אחת ממערכות פיזור קרני X המשוכללות בעולם. המטרה: להתמודד עם משימה שנחשבה בעבר לבלתי אפשרית - מציאת נוסחאות פיזיקליות פשוטות לתיאור מגוון עצום של תופעות ומבנים ביולוגיים. תשתית הידע הפיזיקלי משמשת כבר היום להבנת מנגנונים הקשורים למחלות שונות, ובעתיד אף תשמש בסיס לפיתוח תרופות או נשאי תרופות ננומטריים

ד"ר בק-ברקאי, קודם כל, להתמודד עם אתגר טכנולוגי מורכב: מצד אחד, לא די במיקרוסקופ אופטי כדי להתבונן במבנים זעירים כל כך; מצד שני, כדי להשתמש בכלים בעלי רזולוציה ננומטרית, חייב החוקר לשנות בצורה דרסטית את סביבת החומר הביולוגי,

תכונותיהם והתנהגותם של החומרים הביולוגיים, הוא בחר לבחון את הכוחות הפיזיקליים הפועלים בתוכם וביניהם, ברמה הננומטרית. "העולם הננומטרי בביולוגיה מאופיין בהתארגנות, לרוב ספונטנית, לצבירים המורכבים ממספר רב של מולקולות ביולוגיות,

עולם הביולוגיה מהווה אתגר גדול לפיזיקאים", אומר ד"ר בק-ברקאי מבית הספר לפיזיקה ואסטרונומיה. "הכלים של הפיזיקה הוגדרו במקורם עבור מולקולות פשוטות יחסית, ואילו מבנים ביולוגיים, ובראשם חלבונים, הם גדולים, מורכבים ומגוונים ביותר. במעבדה שלי אנו מתמודדים עם משימה שנחשבה בעבר לבלתי אפשרית: מציאת נוסחאות פיזיקליות פשוטות ואלגנטיות, עם מספר מינימלי של פרמטרים, שיתארו מגוון עצום של תכונות, תופעות ומבנים ביולוגיים. לשם כך אנו מתנהלים באזור התפר שבין ביולוגיה לפיזיקה, בשילוב עם הנדסת חומרים, כימיה ורפואה". בהתאם לכך, קבוצת המחקר של ד"ר בק-ברקאי היא רב-תחומית, ופועלת בשיתוף עם חוקרים רבים בקמפוס, ביניהם ד"ר דן פאר וד"ר יואל הירש מהפקולטה למדעי החיים, ד"ר יעל רויכמן מהמחלקה לכימיה וד"ר אורי נבו מהפקולטה להנדסה.



המבנים הננומטריים המבוססים על שכבת אטומים בודדת מאפשרים לחוקרים לצפות בתופעות ואפקטים פיזיקליים המתקיימים רק בגודל הזעיר

ובמעבר זה אוברים חלק מהמאפיינים המקוריים של החומר. לפיכך עוברים החוקרים בשיטה מתקדמת: מדידת פיזור קרני X בזוויות קטנות, המאפשרת להתבונן בצבירים הננומטריים בתוך נוזל המדמה את סביבתם הטבעית בתא החי. המערכת לפיזור קרני X שתכנן ובנה ד"ר בק-ברקאי במעבדתו שבאוניברסיטת תל-אביב היא אחת המשוכללות והמתקדמות מסוגה בעולם.

כמו חלבונים, חומצות שומן וחומר גנטי, הוא מסביר. "במעבדה שלי אנו מנסים לברר מהם המנגנונים הפיזיקליים והכוחות הבין-מולקולריים האחראים לתופעות השונות: כיצד המולקולות 'משוחחות' ביניהן, ואיך בדיוק הן מתארגנות ויוצרות יחדיו מבנים חדשים. אנחנו מודדים, מכמתים וממפים את הכוחות, מאתרים את המנגנונים הדומיננטיים, ומנסים לנסח מערכות חוקים פיזיקליות שיתארו את התנהגות החומרים ויסבירו את התהליכים הביולוגיים."

אתגר טכנולוגי מורכב

על מנת לבחון את התנהגותם של מולקולות ביולוגיות זעירות, נדרש

באמצעות הטכנולוגיה החדשנית בוחן צוות המחקר את הכוחות המשפיעים על ההתארגנות העצמית של מבנים וצבירים ננומטריים של חלבונים, סוכרים וחומר גנטי. המחקר מתמקד בפיזיקה של חלבונים לא מקופלים

מנקודת מבטו של ד"ר בק-ברקאי, "הכל פיזיקה". כוחות וחוקים פיזיקליים הם האחראים על תנועות ואינטראקציות של כל המערכות ביקום, מרמת הגלקסיות ועד לרמת האטומים. וכך, כדי להבין לעומק את



הבנה פיזיקלית בסיסית,
ברמה הננומטרית, של
המנגנונים הביולוגיים
והכשלים המתרחשים
בהם, תאפשר בעתיד
לזהות את הגורם הראשוני
ביותר למחלה, ולהעניק לו
טיפול יעיל וממוקד



ד"ר רועי בק-ברקאי הוא בוגר
אוניברסיטת תל-אביב,

שהתמחה בפזיקה של מצב מוצק, עם
התמקדות במוליכי-על ובתופעות
פיזיקליות בטמפרטורות נמוכות
ובשרות מגנטיים בעוצמות גדולות.
כעמית מחקר של הקרן היוקרתית
Human Frontier Science Program
הוא החל לחקור חומרים ביולוגיים
באוניברסיטת קליפורניה בסנטה
ברברה, כמטרה להבין את התכונות
הפיזיקליות שגורמות להם להתנהג
באופן המאפיין אותם. בשנת 2010 שב
לאוניברסיטת תל-אביב במסגרת
התוכנית לעידוד חזרת מרענים
ישראלים, והקים מעבדה מתקדמת
לביופזיקה.

החוקרים משמשת כבר היום להבנת
צבירים של מולקולות ביולוגיות,
הקשורים למחלות שונות המתפתחות
בגוף, או, לחלופין, עשויה לשמש בעתיד
בסיס לפיתוח תרופות ונשאי תרופות
ננומטריים. "הבנה פיזיקלית בסיסית,
ברמה הננומטרית, של המנגנונים
הביולוגיים והכשלים המתרחשים
בהם, תאפשר בעתיד לזהות את הגורם
הראשוני ביותר למחלה, ולהעניק לו
טיפול יעיל וממוקד, שיותאם לכל חולה
באופן אישי", צופה ד"ר בק-ברקאי. ●

(Intrinsically Disordered Proteins)
תחום שזוכה בעשור האחרון לתנופה
רבה בכל העולם. "רוב החלבונים
המוכרים מאופיינים בתהליך קיפול
האחראי לפונקציונליות שלהם," מסביר
ד"ר בק-ברקאי, "אך בשנים האחרונות
התברר כי כמחצית מהחלבונים בגוף
מאופיינים גם באזורים פונקציונליים
שאינם מקופלים. פעילותם של חלבונים
אלה מעוררת עניין רב, ואנחנו שואפים
לפתח שיטות אפיון נוחות עבורם."
תשתית הירע הפיזיקלי שבונים

שקיפות מלאה

צגים גמישים, מסכים שאפשר לגלגל ולפרוס, ותאים סולאריים שנאדוים בתרמיל כציוד לקמפינג – זהו החזון שעשוי להתממש בשנים הבאות בעזרת הטכנולוגיה שמפתחת קבוצת המחקר של פרופ' גיל מרקוביץ' מבית הספר לכימיה

ה"הצגים והמסכים שממלאים היום את חיינו עשויים ממספר שכבות חכמות, ואחת מהן היא אלקטרודה שקופה – שכבה שקופה שמוליכה חשמל, העשויה מחומר קשיח ושכיר, דמוי זכוכית, "מסביר פרופ' מרקוביץ', כימאי פיזיקלי החוקר תכונות חשמליות, מגנטיות ואופטיות של ננורחומרים. "כיום המגמה העולמית היא לפתח מכשירים אלקטרוניים מחומרים גמישים כמו פולימרים (פלסטיק). מכשירים אלה יורקו למוליכים שקופים גמישים, שהם נוחים וזולים לייצור. מסיבה זו נערכים בעולם מחקרים רבים בתחום זה, שאף הניבו מספר טכנולוגיות מתקדמות. הפיתוח שלנו עונה במדויק על הצרכים, ויש לו יתרונות חשובים מול שיטות מתחרות לייצור מוליכים שקופים גמישים. אני

צופה שיהיו לו יישומים רבים מאוד עם התפתחות הטכנולוגיה."

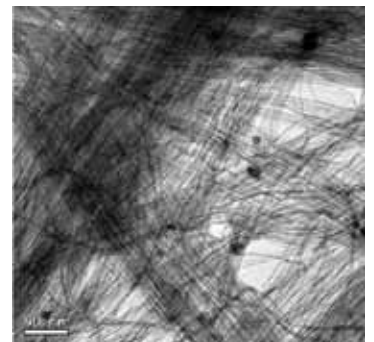
ננורספגטי

המוליך השקוף שפותח במעבדתו של פרופ' מרקוביץ' הוא מארג של ננורחומים דקים מזהב ומכסף – מעין 'ננורספגטי', המיוצר בשיטה כימית 'רטובה': טובלים את המצע הרצוי בתמיסה המכילה חלקיקים ננומטריים של זהב ו/או כסף, והחלקיקים מסתדרים מעצמם בצורת חוטים על פני המשטח כולו – בתהליך המכונה התארגנות עצמית, ומאפיין התנהגות של חומרים מסוימים בממדים הועירים. השיטה החדשנית נוחה מאוד לשימוש – באמצעות טבילה, מריחה או התזה, וזהו יתרונה הגדול. "בטכנולוגיות אחרות, המתבססות למשל על החומר החדשני גרפן או על ננורצינוריות פחמן, חייבים לייצר בנפרד את מרכיבי המוליך השקוף הגמיש, ואחר-כך להעביר אותו אל המשטח שעליו ייבנה ההתקן האלקטרוני, "אומר פרופ' מרקוביץ'. "זהו תהליך מורכב ויקר, שנתקל במכשולים טכנולוגיים רבים. בשיטה שלנו התהליך כולו מתבצע בשלב אחד, והמוליך מסתדר מעצמו על גבי המצע." כתוצאה מכך, הטכנולוגיה יעילה מאוד גם עבור משטחים גדולים, כמו מסכי ענק או פאנלים סולאריים רבי עוצמה. ולא פחות חשוב: מכיוון שמדובר בממדים ננומטריים, כמויות הזהב והכסף הן מזעריות, והתהליך כולו זול יחסית לשיטות המקובלות היום לייצור מוליכים שקופים.

בנוסף לתכונות הגמישות החיוניות, עוסק פרופ' מרקוביץ' גם בתכונות האופטיות של שכבות דקות המורכבות מננורמכנים מתכתיים. "אור הוא קרינה אלקטרומגנטית, בעלת גלים בממדים ננומטריים, ולכן ננורמכנים מתכתיים יכולים לשמש כננוראנטנות הקולטות ומרכזות גלי אור, "מסביר פרופ' מרקוביץ'. לדבריו, שכבות כמו ה'ננו-ספגטי' שפותח במעבדתו יכולות לשמש כאנטנות שימקדו את קרינת השמש הפוגעת בשטח רחב. בדרך זו ניתן יהיה לייעל באופן ניכר את פעילותם של תאים סולאריים, ולהפיק כמויות גדולות יותר של חשמל מאנרגיית השמש.

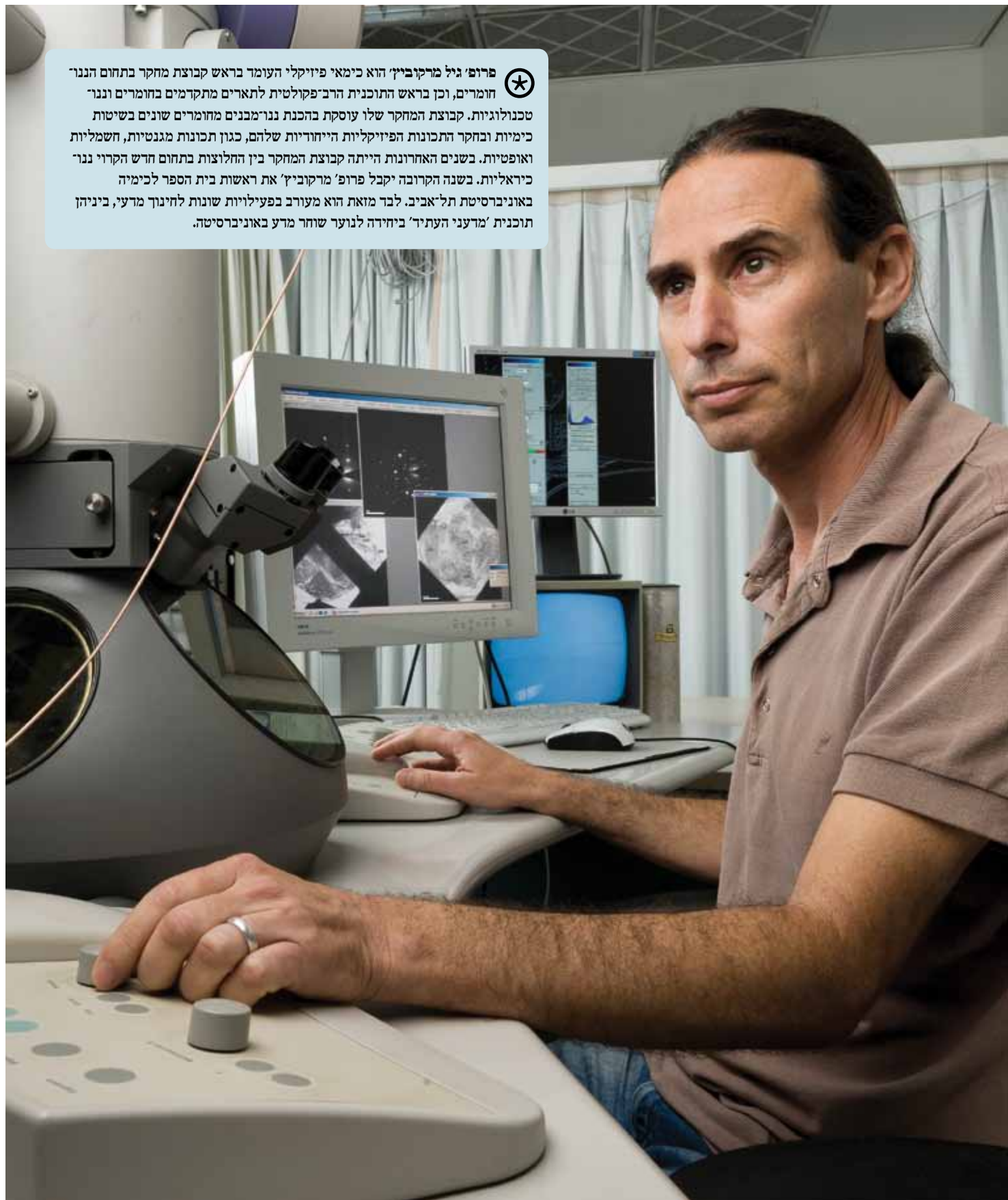
יישומים מביטיחים

ניסיון ראשון למסחור הטכנולוגיה החדשנית מתבצע כבר היום בשיתוף עם חברת פי.וי. ננוסל ממגדל העמק. בשלב הראשון מדובר ביישום הטכנולוגיה לייצור יריעות של תאים סולאריים העשויות מפולימרים, אשר יאפשרו לחובבי הקמפינג לייצר חשמל בשטח. בעתיד ייתכן כי יריעות דומות ייוצרו בייצור המוני לצורך ציפוי משטחים שונים, קירות ועוד, והשכבות הדרושות – ביניהן המוליך השקוף, פרי מחקרו של פרופ' מרקוביץ' – יוצמדו אל היריעות בשיטות מתקדמות של הדפסה. יישומים אפשריים של השכבות הללו בעתיד כוללים: צגי LCD גדולים, צגי LED מתקפלים והפשרת קרח או ייבוש אדים המצטברים על חלונות. ●



תמונת מיקרוסקופ אלקטרוני של שכבת ננורחומי מתכת מוליכת חשמל ושקופה כמעט לחלוטין. עובי החוטים כ-2-3 ננומטרים, כך שקוטר של חוט בודד מכיל רק 10-15 אטומי זהב!

פרופ' גיל מרקוביץ' הוא כימאי פיזיקלי העומד בראש קבוצת מחקר בתחום הננו־חומרים, וכן בראש התוכנית הרב־פקולטית לתארים מתקדמים בחומרים וננו־טכנולוגיות. קבוצת המחקר שלו עוסקת בהכנת ננו־מבנים מחומרים שונים בשיטות כימיות ובחקר התכונות הפיזיקליות הייחודיות שלהם, כגון תכונות מגנטיות, חשמליות ואופטיות. בשנים האחרונות הייתה קבוצת המחקר בין החלוצות בתחום חדש הקרוי ננו־כיראליות. בשנה הקרובה יקבל פרופ' מרקוביץ' את ראשות בית הספר לכימיה באוניברסיטת תל־אביב. לבר מזאת הוא מעורב בפעילויות שונות לחינוך מדעי, ביניהן תוכנית 'מרעני העתיד' ביחידה לנוער שוחר מדע באוניברסיטה.



הספין האלקטרוני

פרופ' יורם דגן מבית הספר לפיזיקה ואסטרונומיה מפציץ גביש בלייזר ומחמם גביש אחר ל-800 מעלות - על מנת ליצור שכבה ננומטרית של חומר בעובי מולקולה בודדת, שעשויה להחליף בעתיד את הסיליקון. "האלקטרוניקה של העתיד תיעזר בתכונות הספין של האלקטרון כדי לאגור כמות כפולה של מידע בתוך יחידת בסיס אלקטרונית בודדת", הוא מעריך

חמצני וסטרוניציום טיטניום חמצני. בחרנו בזיווג זה מכיוון שהמשטח המפריד בין שני הגבישים המבודדים הוא באופן מפתיע מוליך-על וגם מגנטי, שתי תופעות שבדרך כלל נוגדות זו את זו.

המבנים הננומטריים המבוססים על שכבת אטומים בודדת מאפשרים לחוקרים לצפות בתופעות ואפקטים

משחררים ממנו אטומים. האטומים המשחררים נדבקים אל החומר המחומם, ומאמצים את המבנה הגבישי של הגביש הקולט אותם. כך מתקבל משטח בעובי של מולקולה בודדת, שהוא למעשה חומר שלישי, המשלב תכונות של שני החומרים המקוריים: אטומים שמקורם בחומר אחד, מסודרים ברפוס המאפיין את החומר השני.

“בעשורים האחרונים מתקדמת תעשיית המיקרו-אלקטרוניקה על פי העקרונות שהגדיר גורדון מור, ממייסדי אינטל, בחוק הנושא את שמו: מדי כשנתיים מוכפל מספר הרכיבים הממוקמים על שטח נתון, ”אומר פרופ' דגן. “אלא שתהליך המזעור הזה אינו יכול להיות אינסופי. לכן אנחנו מנסים כיום לפתח תהליך לחצאי המוליכים מבוססי הסיליקון, המוכרים לנו. במעבדה שלי אנו מפתחים לצורך זה גבישים ננומטריים מבוססי אוקסידים: מבנים שמשלבים לסירוגין שכבות של גביש מבודד עם שכבות של גביש אחר. חשוב לציין כי לעיתים, גם כששני הגבישים מבודדים, נוצר ביניהם משטח ננומטרי בעל תכונות מיוחדות, המסוגל להוליך זרם חשמלי.”

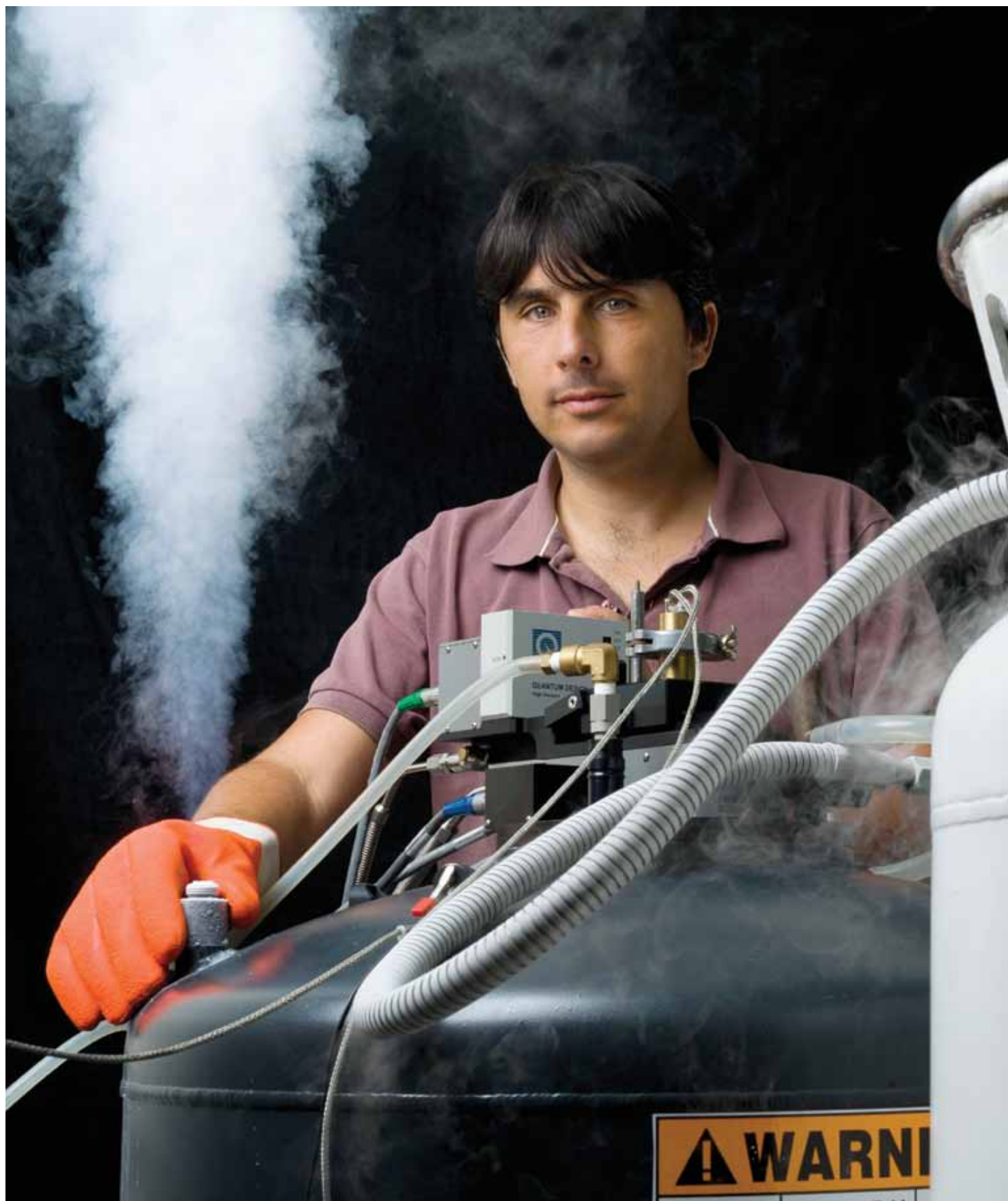
המבנים הננומטריים המבוססים על שכבת אטומים בודדת מאפשרים לחוקרים לצפות בתופעות ואפקטים פיזיקליים המתקיימים רק בגודל הזעיר

פיזיקליים המתקיימים רק בגודל הזעיר. כך הם יכולים לראות תופעות גליות המשפיעות על הולכת האלקטרונים, ולהבחין בתופעות קוונטיות המוכרות בפיזיקה התיאורטית - כשהן מתורגמות להתנהגות החומר בפועל (בטמפרטורות נמוכות מאוד). בין השאר מתמקד מחקרו של פרופ' דגן בתופעות מגנטיות המתרחשות בחומר המשולב, ובמיוחד במה שמכונה אינטראקציית ספין-מסילה: שליטה בכיוון הסיבוב של האלקטרון, הקרויה 'ספין', שעשויה לשנות את פני האלקטרוניקה בשנים הבאות. "האלקטרוניקה של העתיד תיעזר בתכונות הספין של האלקטרון כדי לאגור כמות כפולה של מידע בתוך יחידת בסיס אלקטרונית בודדת", מעריך פרופ' דגן.

“אם, לדוגמה, אנו שואפים ליצור שכבת אטומים שמשלבת תכונות של קיטוב גבוה ומגנטיות, נבחר לשדך בין גביש של חומר מגנטי לבין גביש המאפיין כחומר פרו-אלקטרי - חומר שיש לו קיטוב חשמלי חזק, אותו הוא 'זוכר' גם אם מסירים את השדה החשמלי החיצוני, מסביר פרופ' דגן. “במעבדה שלי אנחנו מתמקדים בצמד גבישים מבודדים, שמתאים למטרותינו: לנטנוס-אלומיניום

המבנה הגבישי המשולב מיוצר בתהליך מורכב: שני סוגי הגבישים מונחים זה לצד זה, כאשר חומר אחד מחומם לטמפרטורה של כ-800 מעלות צלסיוס, בעוד השני נותר בטמפרטורת החדר. אותות לייזר אולטרה-סגול, המשוגרים אל הגביש שאינו מחומם,

פרופ' יורם דגן הוא פיזיקאי העוסק בתחום המצב המוצק. הוא עשה את כל לימודיו באוניברסיטת תל-אביב, ובשנת 2005, לאחר כארבע שנות פוסט דוקטורט באוניברסיטת מרילנד שבארה"ב, הצטרף לסגל האוניברסיטה. פרופ' דגן זכה במענקי מחקר רבים ובפרסי הצטיינות שונים, ביניהם פרס הרקטור להצטיינות בהוראה. קבוצת המחקר שלו עוסקת במערכות אלקטרוניות עם קורלציה חזקה כגון מוליכי על, חומרים מגנטיים ומשטחים המפרידים בין אוקסידים.



קוונטים במימד הננומטרי

מה קורה בתוך טרנזיסטור בממדים ננומטריים? כיצד ניתן לשלוט במוליכות בהתקן אלקטרוני זעיר? ואיך אפשר להכפיל את יעילותו של פאנל סולארי המבוסס על ננו-חלקיקים? **פרופ' ערן רבני** מהמחלקה לפיזיקה כימית מסביר שכאשר מגיעים לממדים זעירים, אפקטים רבים תלויים בתופעות קוונטיות, ומניח תשתית מדעית לפיתוחים טכנולוגיים עתידיים



"בסוף המאה ה-19 רווחה בקרב הפיזיקאים האמונה שלמעשה התגלו כבר כל החוקים הבסיסיים של הטבע", מספר פרופ' רבני. "ואז, בתחילת המאה ה-20 פותחה המכניקה הקוונטית, שפתחה בפניהם עולם חדש: העולם של הסקאלות הקטנות ביותר – מולקולות, אטומים, אלקטרונים וכו'. המכניקה הקוונטית החייתה את הפיזיקה, וכמה מהמדענים הגדולים ביותר של המאה ה-20 עסקו בה. היום, כשאנו עוסקים בעולם הננומטרי, אנו מבינים שכשגמיעים לממדים הזעירים, אפקטים רבים תלויים בתופעות קוונטיות. הטכנולוגיה המודרנית, ששואפת למזער יותר ויותר את הרכיבים האלקטרוניים, תצטרך בשלב מסוים להתמודד עם הסוגיה הקוונטית. בקבוצה שלי אנחנו מנסים לתאר במדויק את התופעות הקוונטיות ולהתמודד עם השפעתן על התקנים ננומטריים."

להלן מספר דוגמאות ממחקריו של פרופ' רבני בחזית הננו-מדע:

טרנזיסטור מולקולרי

מה, לדוגמה, קורה בטרנזיסטור – רכיב בסיסי בכל מכשיר אלקטרוני – כשהוא מגיע לגודל של מולקולה בודדת? כיצד זורם האלקטרון דרך המולקולה? לשם כך חשוב לחקור ולהבין את תכונות המוליכות של חומרים ברמה הננומטרית, והבעיה מורכבת במיוחד מכיוון שמדובר בזרם: כלומר, מערכת

שאינה מצויה בשיווי משקל. כדי לפתור בעיות מסוג זה, פיתח פרופ' רבני שיטה חישובית חדשה, המבוססת על 'אינטגרלי מסלול' – גישה שפותחה על ידי אבי הננוטכנולוגיה ריצ'רד פיימן. הגישה פורצת הדרך של פרופ' רבני מאפשרת לנבא במדויק את מוליכות החומר בסקאלה הננומטרית.

אילוחים במימד הננומטרי

כל ההתקנים האלקטרוניים שאנו מכירים היום מבוססים על חצאי מוליכים (כמו סיליקון), המכילים תוספות (אילוחים) של חומרים המשנים את המוליכות. באמצעות האילוחים הללו מצליחים מפתחי המכשירים לשלוט באופן מיטבי בתכונות האלקטרוניות של החומרים, ולהתאימן לשימושים שונים. אך מה קורה לחצאי המוליכים ולחומרים המאליים בסקאלה הננומטרית? "במשך שנים רבות ניסו חוקרים להחדיר אילוחים לננו-חלקיקים, אך ללא הצלחה. ללא אילוחים האפשרות להשתמש בחצאי מוליכים ננומטריים, ולייצר באמצעותם התקנים זעירים, מוגבלת מאוד", אומר פרופ' רבני.

קבוצת המחקר של פרופ' רבני, בשיתוף עם קבוצה מהאוניברסיטה העברית, מצאה פתרון לבעיה הסבוכה. החוקרים מאוניברסיטת תל-אביב פיתחו מודל תיאורטי המסביר את תכונותיהם האלקטרוניות של אילוחים הכלואים בתוך חצי מוליך ננומטרי, ואילו עמיתיהם באוניברסיטה העברית ביצעו



פרופ' ערן רבני הוא סגן הנשיא למחקר ופיתוח באוניברסיטת תל-אביב, וחבר סגל במחלקה לפיזיקה כימית בבית הספר לכימיה. הוא נחשב לפורץ דרך בתחום התיאוריה של מערכות מורכבות בסקאלה הננומטרית, ועוסק במגוון תחומים: ארגון עצמי של ננו-חלקיקים, תכונות מבניות ואלקטרוניות של ננו-חלקיקים, העברת אנרגיה ומטען בסקאלה הננומטרית, מוליכות מולקולרית ודינמיקה קוונטית רב-גופית. פרופ' רבני פעיל בארגונים מדעיים אירופיים ואמריקאיים, והיה חבר בפורומים מדעיים של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים ומדען אורח באוניברסיטאות מובילות בעולם, ביניהן הרווארד, קולומביה, ברקלי ואקול נורמל בפריס. מחקריו הרבים פורסמו בכתבי-העת המדעיים החשובים ביותר, והוא זכה במלגות ובפרסים רבים, ביניהם מלגת כלור, מלגת אלון, מלגות קרן רוטשילד וקרן פולברייט, פרס מרכז מילר בברקלי, פרס ברנו של יד הנדיב, פרס החברה הישראלית לכימיה, פרס פרידנברג, פרס ברגמן, פרס פטאי ופרס אלונינג.

בפועל את תהליך האילוח החדשני. הפיתוחים החדשים מאפשרים שליטה אופטימלית בתכונות האלקטרוניות והאופטיות של חצאי מוליכים ננומטריים, כבסיס למגוון רחב של פיתוחים יישומיים בעתיד.

להכפיל את היעילות

לדברי פרופ' רבני, "תאים סולאריים רבים פועלים על-פי העיקרון הבא: כשהחומר בולע את אור השמש, האלקטרונים עוברים למצב מעורר. כל פוטון (חלקיק אור) שנבלע מעורר אלקטרון אחד, והאלקטרון המעורר משאיר אחריו חור. הפרדה בין האלקטרון לחור יוצרת מטען חשמלי, ואלקטרודות המחוברות לתא אוספות את המטענים. כך נוצר זרם חשמלי."



”
**הפיתוחים החדשים מאפשרים שליטה
 אופטימלית בתכונות האלקטרוניות
 והאופטיות של חצאי מוליכים
 ננומטריים, בבסיס למגוון רחב של
 פיתוחים יישומיים בעתיד**

בחומר, ייצור שני נושאי מטען במקום
 אחד. על-פי התיאוריה יכולה הניצולת
 של תא כזה להתקרב ל-50%. אנחנו
 חקרנו את תהליך הכפלת המטען
 בפאנלים סולאריים המבוססים על ננו-
 חלקיקים, והגענו למסקנות מעניינות.”
 מצד אחד הוכיחו החוקרים כי השיטה
 אינה יעילה בפאנלים המבוססים על
 ננוטכנולוגיה מהסוג המקובל, אך
 בהמשך הם הראו כיצד, על-ידי הוספת
 אלמנטים פיזיקליים מסוימים, ניתן
 יהיה לבנות תאים סולאריים בהם
 מתרחש תהליך הכפלת מטען יעיל,
 שניב את התוצאות המקוות. ●

תא סולארי הפועל בדרך זו מסוגל לנצל
 עד 31% מהאנרגיה הסולארית שהוא
 קולט, וזאת על-פי תיאוריה שהוכחה
 כבר בשנות ה-60. הבעיה היא שעלות
 ייצורם של תאים כאלה גבוהה מאוד
 בהשוואה לתועלת שניתן להפיק מהם.
 לכן מחפשים מדענים בכל העולם
 דרך להגדיל את הניצולת מצד אחד,
 ולהפחית עלויות, מצד שני.

”חוקרים רבים ביקשו להגדיל את
 ניצולת התאים באמצעות שיטה המכונה
 ‘הכפלת מטען’, מסביר פרופ’ רבני.
 ‘המשמעות היא שכל פוטון שנבלע

אור יקרות

התקנים בממדים ננומטריים מאפשרים לנו לגייס את האור למטרות רבות ומגוונות - החל בהפקת חשמל מאנרגיית השמש וכלה באיתור זיהומים וזיהוי זיופים. המעבדה לננו-פוטוניקה של פרופ' קובי שויער, במחלקה לחשמל ואלקטרוניקה פיזיקלית שבפקולטה להנדסה, מפתחת שלל יישומים מרתקים לטכנולוגיה החדשנית



“אנחנו עוסקים בננו-פוטוניקה - האינטראקציה של אור עם חלקיקי חומר בממדים הננומטריים”, מסביר פרופ' שויער. “מתברר שתכונות הקשורות לאור, כמו למשל צבע החומר, משתנות באופן משמעותי כשמדובר בחלקיקים זעירים. לדוגמה, תמיסה המכילה חלקיקי זהב שגודלם 20 ננומטר נגלית לעינינו בצבע אדום. גם הצורה הגיאומטרית של החלקיקים משפיעה מאוד על התנהגות החומר הננומטרי. אנחנו חוקרים את החומרים הללו ותכונותיהם, ומוצאים להם מגוון רחב של יישומים - מעניינים יותר, ומעניינים עוד יותר...”

ננו-אנטנות לקליטת גלי אור

בין הפיתוחים החשובים במעבדתו של פרופ' שויער, בשיתוף עם פרופ' יעל חנין ופרופ' אמיר בוג, ניתן למצוא את הננו-אנטנות - אנטנות זעירות המותאמות בגודלן לאורכי הגל של אור נראה. “באופן כללי, אנטנה היא חוט מתכתי באורך מסוים, שקולט גלים אלקטרומגנטיים בעלי אורך גל מתאים, והגלים האלקטרומגנטיים יוצרים בחוט זרם חשמלי”, אומר פרופ' שויער. “אורכם של גלי רדיו, למשל, נמדד במטרים, ובהתאם לכך גם גודל האנטנות. אורך הגל של האור הנראה, לעומת זאת, מצוי בטווח הננומטרי, ואנחנו מפתחים ננו-אנטנות מתאימות, שקולטות את גלי האור.”

האנטנות הננומטריות, שגודלן כחצי מיקרון עד מיקרון, עשויות לשמש

להפקה יעילה במיוחד של אנרגיה מאור השמש. בזכות ממדיהן הן קולטות טווח רחב של גלי אור נראה ואור אינפרא-אדום, ולכן הן מסוגלות לנצל חלק משמעותי ביותר מהאנרגיה הסולארית - עד 85%, לעומת כ-30% בלבד בטכנולוגיות הקיימות היום. מערך גדול של ננו-אנטנות כאלה, הפרוס על שטח נרחב, יכול לייצר כמות משמעותית של חשמל ‘ירוק’.

ננו-חיישן לגילוי חומר נפץ

כיוון מחקר נוסף של פרופ' שויער וצוותו הוא פיתוח ננו-חיישנים רגישים במיוחד, שמסוגלים לגלות נוכחות של חומר זר, גם כשהוא מצוי בכמויות זעירות ביותר. חיישן ננומטרי מסוג זה הוא מקור אור - לייזר בעל סף רגישות נמוך ביותר, המשנה את צבעו בהשפעת החומר שאותו הוא מיועד לגלות. לחיישנים אלה צפויים יישומים רבים ומבטיחים, כמו גילוי זיהומים במים בשלב מוקדם ביותר, ואיתור נוכחות מזערית של חומרי נפץ ורעלים כימיים וביו-לוגיים.

ג'ירוסקופ בתוך גלולה

הג'ירוסקופ הומצא במאה ה-19, ושימש בתחילת דרכו - בגרסתו הגדולה והמכנית - לשמירה על יציבות המצפן בספינות ששטו באוקיינוסים. בהמשך התרחב מאוד טווח היישומים, וכיום מורכבים ג'ירוסקופים במטוסים, בטילים, בטנקים, באפונים ועלולים ואף במצלמות משוכללות ובטלפונים סלולריים. החוקרים במעבדתו של

פרופ' שויער, בשיתוף עם קבוצתו של פרופ' בני שטיינברג מהפקולטה להנדסה, עובדים על פיתוחו של ג'ירוסקופ אופטי זעיר ומדויק ביותר, שיאפשר לנווט - לאו דווקא באוויר או על פני האוקיינוסים - אלא, לדוגמה, בתוך גוף האדם. הג'ירוסקופ הננומטרי יושל בתוך גלולה, וינווט את התרופה היישר למקום הזקוק לה בגופו של החולה.



מבנים זעירים, פשוטים וזולים לייצור, פרי פרויקט נוסף של קבוצת המחקר, עשויים לשמש בעתיד למניעת זיופים - של שטרות כסף, תרופות ועוד

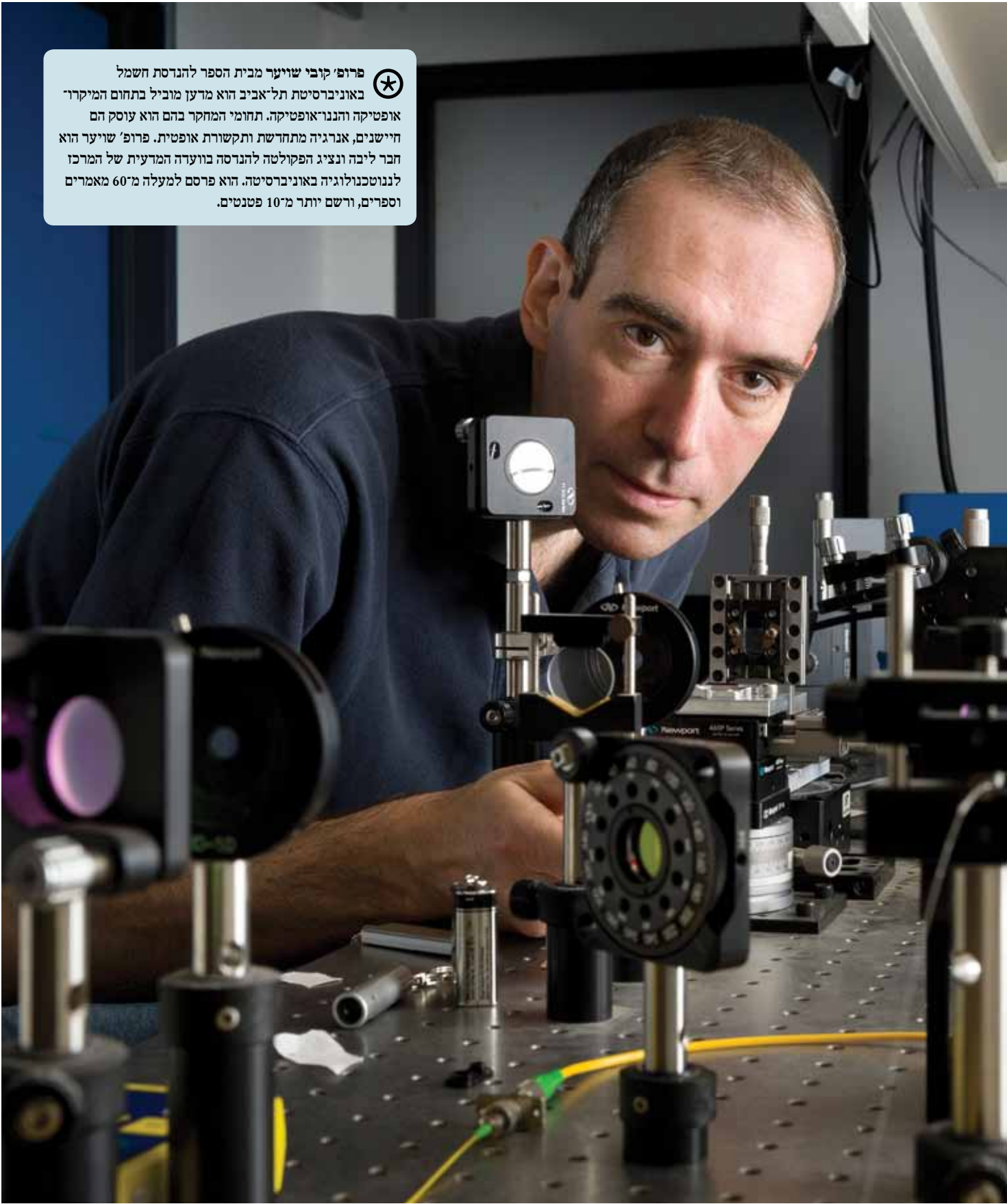


כיוון מחקר נוסף של פרופ' שויער וצוותו, הוא פיתוח ננו-חיישנים רגישים במיוחד, שמסוגלים לגלות נוכחות של חומר זר, גם כשהוא מצוי בכמויות זעירות ביותר

מבנים זעירים למניעת זיופים

מבנים זעירים, פשוטים וזולים לייצור, פרי פרויקט נוסף של קבוצת המחקר, עשויים לשמש בעתיד למניעת זיופים - של שטרות כסף, תרופות ועוד. המבנים הננומטריים, שלא ניתן לראותם בעין, יורבקו לשטר או למוצר המקוריים, ויוזוהו באמצעות מכשיר אופטי מותאם. תגובה מסוימת של המבנים הננומטריים לקרן האור תאשר שהמוצר אכן אמיתי, וכי תוקפו לא פג. ●

 פרופ' קובי שויער מבית הספר להנדסת חשמל באוניברסיטת תל-אביב הוא מדען מוביל בתחום המיקרו-אופטיקה והננו-אופטיקה. תחומי המחקר בהם הוא עוסק הם חיישנים, אנרגיה מתחדשת ותקשורת אופטית. פרופ' שויער הוא חבר ליבה ונציג הפקולטה להנדסה בוועדה המדעית של המרכז לננוטכנולוגיה באוניברסיטה. הוא פרסם למעלה מ-60 מאמרים וספרים, ורשם יותר מ-10 פטנטים.





אנרגיה בזעיר אנפין

כיום, כשממדי המכשירים הולכים וקטנים, גובר הצורך במצברים זעירים ויעילים. פרופ' עמנואל פלד ופרופ' דיאנה גולודניצקי מבית הספר לכימיה מפתחים מצברים שניתן להתקנם, בין השאר, בתוך קפסולות לבליעה - למטרות רפואיות, או בחיישנים זעירים - לשימושים ביטחוניים

פרופ' דיאנה גולודניצקי מבית הספר לכימיה של אוניברסיטת תל-אביב מתמחה בתחום האלקטרוכימיה, עם דגש על מצברי ליתיום ואגירת אנרגיה באמצעים אלקטרוכימיים. היא פרסמה יותר מ-80 מאמרים מדעיים ושלושה פרקים בספרים מדעיים, מחזיקה ב-12 פטנטים והייתה בין מייסדי חברת ההונק DEVIS electroscopy. פרופ' גולודניצקי מקיימת שיתופי פעולה בינלאומיים עם מדענים מובילים בארה"ב וברחבי אירופה, וחברה במערכת כתביהעת המדעי The Open Electrochemistry Journal.

לשמיעה; קוצבי לב; חיישנים למדידת לחץ דם או רמת האינסולין בדם; אגירת אנרגיה המופקת מהשמש על-ידי תאים סולאריים קטנים; חיישנים לניטור סביבתי ומדידת לחץ אטמוספרי; חיישנים הפוורים בשטח למטרות ביטחוניות; ועוד.

תאי דלק ידוקים

במחקרים אחרים נעזרו החוקרים בשיטות של ננוטכנולוגיה כדי לקדם יישומים מתחום האנרגיה, ובעיקר תאי דלק 'רוקים' ונקיים. "תא דלק הוא מתקן אלקטרוכימי שממיר באופן רציף אנרגיה כימית של דלק (כמו מימן) וחומר מחמצן (כמו חמצן או אוויר) - לאנרגיה חשמלית", מסביר פרופ' פלד. "תאי הדלק הירוקים ידירותיים לסביבה, מכיוון שהם פולטים רק מים וחום לאטמוספירה, ובעשור האחרון הם מעוררים עניין רב ברחבי העולם - כאמצעי לייצור ולאגירת אנרגיה בכלל ואנרגיה נקיה בפרט. הם יכולים לשמש לאגירת חשמל המיוצר מאנרגיית הרוח או השמש, ולאספקת חשמל לרשת

ועוביו 500 מיקרון, ובו 20,000 עד 30,000 חורים דקים, בקוטר 30-50 מיקרון, ובמרחק 10 מיקרון זה מזה. בעזרת שיטות חכמות של 'כימיה רטובה' - תהליכי ציפוי שונים בתוך תמיסות - מצליחים החוקרים למקם בכל אחד מהחורים שכבות דקות המרכיבות ננומצבר עצמאי. בסך הכל מציע השבב פי 10 עד 40 יותר חומר פעיל לייצור חשמל, והספק גבוה פי 10 ליחידת שטח, בהשוואה למיקרו-מצברים אחרים.

"אנו מפתחים מגוון מצברים העשויים מננו-חומרים שונים, כדי לספק מתח נכון לצרכים ולשימושים שונים", אומרת פרופ' גולודניצקי. "לדוגמה, תאים סולאריים זקוקים למתח נמוך של 1.5-2 וולט, ומצברים המשמשים למטרות רפואיות פועלים בדרך כלל על מתח של 3 וולט ומעלה". היישומים הפוטנציאליים של המצברים הזעירים רבים מאוד: שתלים שמשחררים תרופות בגוף באופן מבוקר; קפסולות לבליעה הנושאות מיקרו-מצמלות להדמיה פנימית של מערכת העיכול (אנדרוסקופיה); שתלים באוזן המסייעים

חוקרים בכל העולם מנסים היום לפתח מענה מקיף לצורך במצברים זעירים: מיקרו-מצברים שמפיקים זרם גבוה וגם פועלים לאורך זמן. "המצברים המקובלים בנויים ממספר שכבות - קטודה, אנודה, אלקטרוליט ואוסף זרם, שיוצרים ביניהם תגובה אלקטרוכימית המפיקה חשמל", מסבירה פרופ' גולודניצקי. "כשמקטינים את כמות החומר כדי לבנות סוללה זעירה, פוחתת גם כמות האנרגיה, והסוללה אינה יעילה. בנוסף, האלקטרוליט הוא נוזל רעיל שעלול לדלוף, ולכן סוללות מסוג זה אינן מתאימות לשימושים רפואיים, בתוך גוף האדם. כמו כן, מצברים קטנים עם שכבות דקות של אלקטרוליט מוצק, שפותחו לפני כ-15 שנה, זקוקים לטעינות תכופות מדי. פרופ' מנחם נתן מהפקולטה להנדסה הציע פתרון מבריק: שבב סיליקון מחורר, המכיל מספר גדול של מצברים בממדי ננו. קבוצת המחקר שלנו מפתחת מצברים זעירים המתבססים על הרעיון של פרופ' נתן. המצברים הזעירים בנויים לתוך שבב סיליקון תלת-ממדי, ששטחו 1 סמ"ר

כשמקטינים את כמות החומר כדי לבנות סוללה זעירה, פוחתת גם כמות האנרגיה, והסוללה אינה יעילה. בנוסף, האלקטרוליט הוא נוזל רעיל שעלול לדלוף, ולכן סוללות מסוג זה אינן מתאימות לשימושים רפואיים, בתוך גוף האדם



פרופ' עמנואל פלד מביית הספר לכימיה של אוניברסיטת תל-אביב הוא מרען בעל שם עולמי בתחום תאי דלק ומצברים. הוא היה בין מייסדיהן של שתי חברות הזנק חדשניות, EnStorage ו-Chemtronics, המבוססות על טכנולוגיות שפותחו במעבדתו. כמו כן פיתחה קבוצתו תאי דלק ייחודיים, שרשמו שיאי עולם בתפוקת חשמל. פרופ' פלד שימש כראש מרכז וולפסון למחקר שימושי בחומרים ומרכז גורדון ללימודי אנרגיה באוניברסיטת תל-אביב וכמנהל מרכז הידע לתאי דלק וסוללות של משרד המדע והטכנולוגיה. הוא פרסם מעל 150 מאמרים, רשם יותר מ-40 פטנטים, וזכה בפרסים יוקרתיים בארץ ובעולם.

מחיר הזרזים כיום הוא כמחצית ממחירו של תא הדלק כולו. כדי לייעל ולהוזיל את היישומים, פיתח הצוות של פרופ' פלד זרזים מסוג חדש: גרעין ננומטרי העשוי ממתכת אחרת, יקרה פחות, עטוף בקליפה דקה או בתת-קליפה של פלטינה או סגסוגת פלטינה. זרזים אלה מיוצרים בטכניקה נוחה של שיקוע אל-חשמלי, בטמפרטורת החדר. הם מפחיתים משמעותית את עלות תא הדלק, ובה בעת אינם פוגעים בביצועיו, ולעתים אף משפרים אותם.

או לבתים בודדים (בשילוב עם מיזוג אוויר), וכמובן גם למכשירים ניידים; אולם היישום המבטיח ביותר היום הוא הנעת כלי רכב חשמליים.

מרכיב חשוב בתאי הדלק הם הזרזים – חלקיקים ננומטריים שמאפשרים את תהליכי החמצון-חיזור המתרחשים בתא הדלק. הזרזים הקיימים היום עשויים בדרך כלל מננו-חלקיקים של פלטינה – מתכת יקרה במיוחד, שעלותה מגבילה מאוד את השימוש בתאי דלק. למעשה,



החוקרים המשתתפים בחוברת

פרופ' גיל מרקוביץ'

03-6406985

gilmar@post.tau.ac.il

פרופ' יורם דגן

03-6405554

yodagan@post.tau.ac.il

פרופ' ערן רבני

03-6408475

rabani@post.tau.ac.il

פרופ' קובי שויער

03-6407559

kobys@eng.tau.ac.il

פרופ' עמנואל פלד

03-6408438

peled@post.tau.ac.il

פרופ' דיאנה גולודניצקי

03-6408720

golod@post.tau.ac.il

פרופ' יעל חנין

03-6405617/8

hanein@eng.tau.ac.il

ד"ר דן פאר

03-6407925

peer@post.tau.ac.il

פרופ' איתי בנהר

03-6407511

benhar@post.tau.ac.il

ד"ר רונית סצ'י פאינרו

03-6407427

ronitsf@post.tau.ac.il

פרופ' דורון שבת

03-6408340

chdoron@post.tau.ac.il

ד"ר עודד הוד

03-6405850

odedhod@tau.ac.il

ד"ר רועי בק־ברקאי

03-6408477

roy@post.tau.ac.il





אוניברסיטת תל-אביב
ננוטכנולוגיה

