

כיוון שזאת הרצאה פופולרית, אני בניתי אותה בצורה קצת שונה, לפעמים אני נותן הרצאות פופולריות שאני מדבר בדיוק על מה שמדבר בהרצאה מדעית, במילים אבל קצת יותר פשוטות. אבל הפעם, אני החלטתי, לחלק את ההרצאה ל-3 חלקים, כשבחלק הראשון אני אעשה איזשהו מבוא מאד כללי על התחום שלי, כדי שאתם תבינו מה החשיבות של התחום לפני שאני מתחיל להראות לכם תוצאות. ואני אתחיל ממש מהדברים הבסיסיים, התופעות הבסיסיות, ומה בעצם חשוב מבחינה מדעית. ואחר-כך אני אדבר על העבודה שלנו. אני בחרתי בעצם בשני סיפורים, לספר שני סיפורים מן המעבדה שלנו, ואחר-כך, בסוף, אני אשאל שאלה שתמיד שואלים אותי ובמשך שנים אני לא ממש עניתי אבל השקעתי קצת זמן לעשות... אנשים שואלים: "למה זה טוב?" אני רוצה לסיים את ההרצאה, מקווה שנגיע עם מספיק זמן לחלק הזה, שאני הולך לספר לכם קצת על החזון, הרעיונות לעתיד, מה חשוב בתחום הזה, איך ננו חומרים וננו טכנולוגיה יכולים לשנות החיים שלנו בעתיד, גם בעתיד הנראה לעין וגם בעתיד הרחוק.

אני אתחיל בהצגה אישית, מי אני, ואיך אני הגעתי לכאן. קודם כול קוראים לי ארנסטו יוסלביץ ואני פרופסור מלא במחלקה לחומרים ופני שטח. אני 16 שנים כאן, יש לי קבוצה של 12 סטודנטים, רפרנטים, דוקטורנטים, פוסט-דוקטורנטים ומחקר, ואיך הגעתי לתחום של חומרים וננו חומרים? מאז שאני קטן, הייתי עוד לפני שאני זוכר את עצמי, אמא מספרת שמאד אהבתי לשחק עם האוכל ועם הפירה... ומאד אהבתי לשחק עם הטיפות של השמן שצפות על פני המרק, וגורר אותן עם הכף לראות איך הן מתחברות ואיך הן נפרדות, ואני לא יודע למה... תמיד נמשכתי לחומר. לדברים שאפשר לגעת בהם, שאפשר לשנות להם צורה. אממ... מאד אהבתי משחקי הרכבה – לגו – היה המשחק האהוב עליי. אני בא ממשפחה של אדריכלים, עניין הבנייה, העיצוב ובנייה של דברים זה איפשהו כנראה בא לי בדם. וכשהייתי קטן אני למדתי שיש איזשהו חתיכות שיש איזשהו לגו, מאד מאד קטן, שיש חתיכות לגו מאד קטנות שנקראות אטומים ושאתם בונים מולקולות ואיתם בונים כל העולם וכולנו בנויים מהם, ואם נדע לשחק נכון בלגו הזה נוכל בעצם לבנות כל דבר שרק אפשר לחשוב עליו. וזה מה שהוביל אותי לכיוון הכימיה. למדתי כימיה בהתחלה, נולדתי בארגנטינה, בגיל 9 משפחתי עברה לברצלונה, למדתי שם שנה אחת באוניברסיטה בברצלונה כימיה, ושם לא היה כ"כ מדע בתקופה הזאת, מדבר על לפני יותר משלושים שנה, היום יש קצת יותר מדע בברצלונה, חושב שאנחנו עדיין פה במצב אחר... יותר טוב. אבל אז שם לא היה כ"כ, המרצים שלנו לא עסקו במחקר, הם לימדו אותנו שמדע זה משהו נורא מעניין, שיש אנשים שעושים את זה במקום אחר. ואני שבקרתי בישראל כמה פעמים עם המשפחה הבנתי שאחד המקומות האחרים זה ישראל, שמאד אהבתי והחלטתי שמכל הבחינות זה המקום הנכון בשבילי, מקום שבו אני הרגשתי שייכות, אז הגשתי בקשה למלגה ולמדתי באוניברסיטה העברית כימיה, עשיתי את הדוקטורט בירושלים. לקראת סוף הדוקטורט הייתי צריך לחשוב מה אעשה הלאה. עכשיו, באוניברסיטה למדתי על הכימיה הקלאסית, זאת הכימיה שעוסקת באטומים, איך הם מתחברים, יוצרים מולקולות, ואחר-כך זהו, כל מולקולה לעצמה, אבל התפתחה בשנות התשעים, בזמן שהייתי בדוקטורט, כימיה חדשה שחקרה איך כוחות חלשים מחברים את המולקולות ומאפשרות להם ליצור מבנים גדולים יותר, מורכבים יותר, זה נקרא כימיה סופר-מולקולרית – היה פרס נובל לז'ן-מארי להן ועוד כמה אנשים, התחום הזה קיבל הרבה... באותו, באותה תקופה המציאו גם ב-IBM בציריך מיקרוסקופ חדש, שלא היה כמותו, מבוסס על איזושהי מחט, שתכף אספר עליה, שסורקת את פני השטח ומוודדת זרם, והיא יכולה לקבל תמונה של האטומים המודדים. מאז דמוקרסוט, לפני 2500 שנה, ביוון, הגה את הרעיון של האטומים אנו בעצם דיברנו על אטומים כעל משהו תיאורטי. לימדו אותי בבית-ספר שאי אפשר לראות אטומים, אבל כל זה השתנה ב-1982, כאשר המציאו את המיקרוסקופ הזה ועוד מיקרוסקופים שאספר לכם שאנו משתמשים בהם ומאפשרים לנו לראות האטומים, להזיזם, ולשחק ג'ולות בעצם. זה נורא קסם. אמרתי – יש סופר מולקולות, יש המיקרוסקופים האלה, איפשהו באמצע אני רוצה בעתיד שלי רוצה לחקור משהו, הייתי צריך לחפש מקום לפוסט דוקטורט לחזור לארץ להיות חוקר. אמרתי לפרופסורים באוניברסיטה העברית – אני רוצה, כשאהיה גדול, בפוסט-דוקטורט רוצה לחפש, לחקור משהו שהוא בין גדול לקטן, בין מסודר למבולגן, בין רך וקשה. ואמרו לי – שמע, ארנסטו, זה נושא קצת... ערטילאי, לא מוגדר, לא ברור מה אתה רוצה, לא ממש ברור. אבל כשאני מצאתי, אני ראיתי שזה משהו הולך להיות משהו מאד מאד חשוב, כי אף אחד לא חקר אותו קודם, אלא חקרו אותו בצורה מאד מבוזזת, לא היה תחום כזה. וכשמצאתי חוקר שבדיוק עשה את זה והוא היה אחד מהבודדים פה, אחד מהחלוצים, זה היה באוניברסיטת הרווארד, יוקרית, ליד בוסטון, הוא גם קיבל אותי, אז אמרו לי – שמע, ארנסטו, בחרת לך נושא ממש מפוקפק... אבל בגלל שזה הרווארד, אולי בכל זאת יש סיכוי שמישהו ירצה אותך בחזרה באקדמיה בישראל. אז התחום המפוקפק הזה, שאני הייתי כבר שם, התחיל לתפוס תאוצה, הרבה אנשים בעולם הבינו שזה נושא חשוב – ננו-טכנולוגיה. על זה אדבר עכשיו. אדבר באופן כללי עכשיו על ננו חומרים וננו טכנולוגיה, אח"כ אספר על העבודה, ונראה לאן זה יוביל.

הכותרת שבחרתי "מננו חוטטים לננו מכונות" זה קשור ספציפית למה שאנו עושים.

נתחיל בהתחלה, נדבר באופן מאד כללי, כי חומרים זה משהו שהרבה פעמים אנשים לא מבינים בדיוק מה זה ומה החשיבות של חומרים.

מה זה חומר? באנגלית material, יש הגדרה שאני מאד אוהב מהמילון סטודנטים שיש לי

that of which something is or can be made הדבר שממנו משהו עשוי או יכול להיעשות.

כל מה שאנחנו בונים, גם אנחנו, כל מה שאתם רואים פה מסביב, זה חומרים. הכי שאיתם יושבים עליו, בנוי מחומרים, הטלפון, המחשב, הכול בנוי מחומרים. הטלפון החכם שאנו משתמשים. הכול בנוי מחומרים. ומאחורי כל חומר, יש שנים ושנים של מחקר של מאות או אלפי חוקרים שמונעים ע"י הסקרנות, גילו את החומר ואת התכונות של החומר, לפני שידעו בכלל בשביל מה זה טוב. וככה הם אפשרו את כל מה שאנו משתמשים, כל הדברים שאנו משתמשים בהם היום.

רק כדי להדגיש עד כמה החומרים או מדע החומרים בעצם היה בבסיס של ההתפתחות של הציוויליזציה שלנו – נשים לב, שתקופות היסטוריות, אפילו פרה-היסטוריות, הרבה פעמים יש להם את השם של החומר שאיפשר את הטכנולוגיה שנתנה את האופי אל אותה תקופה. למשל, תקופת האבן, אנשים בנו כלים מאבן. תקופת הברונזה, תקופת הברזל, תקופת הפלסטיקים. במאה ה-19 גילו את הפולימרים והתחילו לבנות המון דברים – בגדים, כלי אוכל... כל-כך הרבה דברים שמשמשים בהם היום עשויים מפלסטיקים. באיזו תקופה אנו נמצאים היום? היום זה עידן המוליכים למחצה. אלה חומרים שהם לא לגמרי מבודדים וללא לגמרי מוליכים כמו מתכת, אלא יכולים להוליך קצת יותר או קצת פחות חשמל בהשפעות קלות, למשל אם יש זיהומים, אם יש שדה חשמלי, אם יש אור – הם מגיבים לאור, יכולים גם לייצר אור, כל האלקטרוניקה, כל המכשירים האלקטרוניים, המצלמות, התאים הסולריים, בבסיסם יש איזשהו מוליך למחצה עם מבנה מוגדר.

היום אנחנו, מדברים על זה שאנחנו נכנסים לתקופה חדשה, שזה תקופת הננו. מה זה ננו?

מישהו יודע? יכולים לעשות קצת אינטראקטיבי... מישהו יודע מה זה ננו? כשאומרים ננו?

- יחידה פיזיקלית

- 10 בחזקת 9-

10 בחזקת מינוס 9, כלומר מיליארדית. אחד חלקי מיליארד. אבל כשאומרים מחוץ לכל הקשר, בד"כ מתכוונים לדברים בגודל ננומטר, מיליארדית של מטר. נדמין את הסרגל. יש סנטימטר ומילימטר, אנו לוקחים המילימטר ומחלקים אותו במיליון... מה שנשאר, המיליונית של המילימטר זה ננו מטר. לתת קצת מושג של קנה המידה. יש לנו עשירית של ננו מטר זה גודל מולקולה מאד קטנה כמו מים. ננו מטר זה מולקולה של גלוקוז, סוכר פשוט. אם נלך לפי כפולות של 10, 10 ננומטר זה חלבון או נוגדן. 100 ננומטר זה וירוס, מיקרון זה בקטריה, וככה יכולים להגיע לגודל מקרוסקופי, כמו כדור טניס. והיחס בין כדור הטניס לננומטר, הוא היחס כמו בערך בין כדור הארץ לכדור הטניס. לקבל מושג.

כשאנו מדברים על ננו חומרים, זה חומרים שיש להם גודל או מבנים בין ננו מטר אחד ל-100 ננומטרים. כלומר מדברים על... אם מדברים על ננו צינור פחמן, שהקוטר שלו, קוטר של ננומטר, הוא בעצם מאה אלף פעם יותר דק משערה מהראש שלנו. אוקיי? זה למשל ננו צינור של פחמן. קוטר בערך ננו מטר. יש בערך 20 אטומים מסביב. זה הגודל שאנו מדברים. מה כ"כ מיוחד בננו חומרים? למה ננו חומרים שונים מחומרים גדולים יותר?

אם אני לוקח לבנה, לבנת זהב, של המאגר הלאומי של ארצות הברית, רואים בסרטים, לוקח את הלבנה, מה צבע הזהב? זהוב, מבריק, יש מוליכות חשמלית מסוימת וכו'. אם אחלק לחצי – מה הצבע שלה? צהוב. אחלק את החצי לחצי? יש רבע, שמינית, שש-עשרית, וכו', הצבע נשאר אותו דבר, תכונות החומר לא משתנות עם הגודל. עד מתי? כשאני מגיע ל-100 ננו מטר, הזהב כבר לא צהוב, נהיה כחול. ואז יש לי חתיכות זהב, וזה נראה בצבע כחול, זה נראה כמו דיו כחול... עכשיו אני מתחיל להקטין את החתיכות של הזהב, זה נהיה סגול ואח"כ נהיה אדום. כשהחלקיקים ממש קטנים. כלומר בין ננו מטר ל-100 ננו מטר, תכונות החומר משתנות לחלוטין כתלות בגודל. אז ננו חומרים אלה חומרים בהם הגודל קובע, והוא קובע את התכונות. למה זה כ"כ דרמטי? אם עד עכשיו הסתכלנו על הטבלה המחזורית של כל היסודות, אמרנו – אוקיי, נערבב את האטומים בכל מיני צורות – זה מה יש. פתאום אנו מגלים שאם אנו נשנה את הגודל ואת הצורה, אנו מקבלים תכונות שונות לגמרי, זה בעצם חומרים שונים! אפשר לבנות איתם דברים שלא חשבנו עליהם קודם. חוץ מזה שזה קטן, זה גם שונה. יש להם תכונות שונות.

לדוגמה, זהב, זה לא תופעה חדשה. כבר בתקופות העתיקות, למשל צבעו את הזכוכיות של קתדרלות... נוטרדאם, למה הזכוכיות האלה הן אדומות וכחולות? האירופאים בימי הביניים, היו כותשים זהב ומערבבים עם הזכוכית, וידעו שאם כותשים קצת זה כחול ואם כותשים עוד זה נהיה אדום. לא ידעו למה. היום אנו יודעים שבתוך חלקיקי הזהב, האלקטרונים נעים במסלולים שיש להם גודל אופייני, ואם החלקיק יותר קטן מהמסלול האופייני שנקרא, הפלסמונים, זה ענני האלקטרונים, אז האלקטרונים תלויים, לא יכולים לזוז בחופשיות, אז התגובה שלהם לאור שונה ואז הצבע משתנה. אם אקח מוליך למחצה כמו קדמיון סלנין – חומר ממנו אפשר לעשות את הלייזר האדום, ממנו אני מצביע. אם אאיר אותם באור חיובי הם יזהרו באדום, אבל אם אקטין גודל החלקיקים, הם זוהרים בצבעים שונים... דרך כל הספקטרום הנראה, עד הסגול. כל מה שהשתנה פה... זה אותו חומר בדיוק. מה שהשתנה זה גודל החלקיקים.

אלה תכונות האותיות שמשתנות עם הגודל. יש תכונות חשמליות שמשתנות. למשל, אם יש לי חוט נחושת, כשהאלקטרונים, כשהחשמל זורם דרך הנחושת, האלקטרונים כל הזמן מתנגשים באטומים שיש שם, וזה מבזבז אנרגיה, ויש התנגדות ויש חום. אוקיי? זה מבזבז את האנרגיה, אבל אם אני לוקח ננו צינור של פחמן שאין בו פגמים, והתזוזה של האטומים היא יחסית קטנה, היא לא מדברת עם התזוזה של האלקטרונים, האלקטרונים פשוט נכנסים בצד אחד, יוצאים בצד השני בלי להתנגד, עם שום דבר. אז יש לנו הולכה שנקראת הולכה בליסטית, כמו איזה טיל שנכנס בצד אחד ויוצא מצד שני, שלא קיימת בחומרים הגילים שמוליכים, שאנו משתמשים בהם. מבחינת תכונות מכניות, מה קובע חוזק של חומר? בואו נחשוב על חומר כשרשרת, יש שרשרת של אטומים, מה קובע את החוזק של השרשרת? החוליה ה-? החלשה! בדיוק אותו בר בחומרים. אני לוקח כוס, וזורק אותה על הרצפה, היא תישבר איפה שיש איזשהו פגם.

הפגמים בעצם קובעים את חוזק החומרים. מה יקרה אם אקח חתיכה של חומר שיותר קטנה מהמרחק הממוצע בין הפגמים? כמה פגמים יש לי בחתיכה הזאת? אפס! ואז החומר יכול להיות פי כמה יותר חזק מחומר רגיל. אם אדע לקחת החתיכות האלה ולחברם בצורה נכונה, יכול לקבל חומר עם תכונות מכניות שונות לגמרי!

למשל, ננו צינורות של פחמן, שיכולים להיות יותר קשיחים מיהלום, שעד עכשיו נחשב לחומר הכי קשיח.

- אלא אם כן נפלת על פגם...
- זה נכון, אבל אם אעשה זאת בצורה נכונה, אז אני יכול לגרום לזה גם שהפגמים ייצאו אל פני השטח, או גם סטטיסטית, אם החתיכה מספיק קטנה, יכול להיות שחלק מן החלקיקים יהיה להם פגם, וחלק גדול לא יהיה להם.

לא אכנס לכל, יש יחס בין שטח לנפח, בחלקיקים הוא מאד גדול. אני יכול להחזיק בקבוקון עם חלקיקים שפני השטח שלהם הוא כמו כמה מגרשי כדורגל... אם יש ריאקציה כימית שקורית רק על פני השטח, למשל בקטליזה, תהליכים מזרזים, אז ננו זרז יהיה הרבה הרבה יותר יעיל.

אז מה שבעצם חולל את מהפכת הננו טכנולוגיה, זה המצאה של מיקרוסקופ שורט. הראשון שגילה אותו, יש להם מחט, ממתכת שסורקת פני שטח של דוגמה, של פרוסה של סיליקון, זה מה שרצו לבדוק, פרוסות של סיליקון, לבנות ציפים, לראות מה איכותם... מפעילים איזשהו מתח חשמלי, ומודדים את הזרם ומנסים לשמור על זרם קבוע, ע"י זה שמעלים ומורידים את הדגם, או את המחט תוך כדי שהמחט סורקת את השטח, כשיש למחט בקצה אטום אחד, הכי בולט, שהוא נמצא בדיוק מעל אטום על הדגם, הרבה זרם, כשהוא זז בין שני אטומים הזרם יורד וככה אנו בעצם מקבלים תמונה טופוגרפית של החומר, של ענני אלקטרונים בחומר. אתם רואים פה הבלטות האלה? כאילו מישהו הניח סדין על תפוזים... רואים? התמונה שאתם רואים כאן, זו התמונה הראשונה שבה ראו אטומים בודדים. זו הייתה מהפכה קונספטואלית. אח"כ המציאו עוד מיקרוסקופים, אחד שאנו משתמשים בו הרבה שנקרא מיקרוסקופ כוח אטומי, שיש בו מחט ולא מודד זרם אלא כוח, וזה מאפשר לנו לעבוד על משטחים מכל הסוגים, גם מבודדים, המשטח לא צריך להיות מוליך. וגם אפשר לראות מולקולות, בתנאים טובים אפשר גם לראות אטומים. אנו משתמשים בו הרבה. בואו ניכנס עכשיו למחקר שלי...

- איך הוא מודד כוח?
- שאלה מצוינת. זה מאד מאד פשוט. יש לנו מין מקפצה קטנה... תחשבו על כמו מקפצה שיש על קצה הבריקה, כמו במרכז הספורט. בקצה של המקפצה יש מחט, שפונה כלפי מטה... והמקפצה הזאת היא גמישה... אנחנו שולחים קרן לייזר על הגב העליון של המקפצה הזאת והקרן מוחזרת לאיזשהו גלאי שיש לו ארבעה חלקים. כאשר אנחנו סורקים את פני השטח, אם יש משהו שבוולט, המחט תעלה. ואז הקרן תהיה מוסטת כלפי מעלה. אם יש שקע, המחט תרד, והקרן תהיה מוסטת כלפי מטה. והמחשב יידע בעצם לשחזר מהנתונים האלה את הטופוגרפיה. מה שהמיקרוסקופ הזה מאפשר לנו, לא רק להסתכל על הדגם אלא גם למדוד דברים. אנחנו יכולים למדוד את הכוח, נגיד ללחוץ, אני אראה לכם איך אנו עושים מניפולציות ויכולים לעשות מדידות כוח, עם אותה מחט, ואפילו אפשר לעשות מדידה חשמלית תוך כדי לחיצה, לעשות מדידה מגנטית, יש הרבה אפשרויות. זה נקרא מיקרוסקופ חיישן סורק, יש הרבה המבוססים על אותו עיקרון.

אנו מתעניינים במעבדה שלי בחומרים קטנים שיש להם תכונות מיוחדות בגלל המימדים המצומצמים שלהם, עם כל האפקטים שהסברתי קודם, ושיכולים לשמש כאבני בניין ליצירה של מכונות קטנות, מעגלים קטנים, חיישנים קטנים, כל מיני דברים קטנים שעושים משהו. מין לגו מכניים... לגו מכני מאד קטן.

כדי שאנחנו נוכל ליצור את הלגו הזה אנחנו צריכים להבין קודם כול את החתיכות, איזה סוג של חתיכות אנו צריכים, איך אפשר לבנות איתם דברים, מה תכונותיהם. יש שאלות מאד בסיסיות. ראשית השאלה הראשונה, מבחינת הצורה, איזה סוג של חתיכות אנו צריכים? בואו נחלקים לפי הממדים. כדורים קטנים – חוטים, משטחים, או דברים נפחיים. מה אתם רואים הכי הרבה בכל מיני מכונות שפועלות?

- נפח.
- איזה אלמנטים יש?
- מיליונים של חוטים.
- בואו נסתכל בתוכנו, יש את הוורידים, את העצבים. במערכות שפועלות, יש הרבה חוטים וצינורות ומוטות ודברים ארוכים שיש להם תפקיד מאד מרכזי – להעביר משהו ממקום אחד למקום אחר. יכולים להעביר אנרגיה, כוח, חומר או מידע.

ככל שאנו יכולים להעביר יותר מידע בשטח חתך יותר קטן, יהיה לנו יצורים יותר חכמים, מחשבים יותר חזקים. לכן יש מגמה של מזעור. אז השאלה שאנו שואלים במעבדה שלנו, היא: איזה חומרים יכולים למלא את התפקידים האלה בקנה המידה הקטן ביותר? זו השאלה. כל מה שאנו עושים, אנו קמים בבוקר, ובאים למעבדה ומתחילים לעבוד, בצורה זו או אחרת קשור בשאלה הזאת.

אנו בעצם מדברים על ננו מבנים חד ממדיים, שזה ננו צינורות פחמן, ננו צינורות אורגנים שהתגלו או ננו צינורות פחמן שהתגלו ב-91 ביפן ע"י SUMIO IJIMA שהיה כאן לפני שבוע, ננו צינורות אורגניים שנתגלו במכון ויצמן ע"י הקולגה שלי, ושותף למחקר, פרופ'

רשף טנא. יש גם ננו חוטים של מוליכים למחצה. יש גם פולימר שכרגע פחות עובדים עליהם, לא חומרים חדשים, אבל בתנאים מסוימים אפשר להשתמש בהם כחוטים להעברת דברים.

בואו נגיד שב-7 השנים הראשונות, אני... כשהייתי קטן עבדתי בעיקר על ננו צינורות פחמן, אח"כ הסתכלתי שוב על הטבלה המחזורית, אמרתי – למה להיות תקוע עם יסוד אחד? יש כ"כ הרבה יסודות שיכול לגוון את המבנים ותכונות חדשות ונעבוד עם ננו צינורות אורגניים, וב-6 השנים האחרונות גם עם ננו חוטים של מוליכים למחצה.

אז מה הבעיות, אם אנו רוצים להשתמש בכל החוטים האלה, יש לנו כמה בעיות מאד מאד מרכזיות. בעיה אחת, איך נשלוט על התכונות שלהן? תכונות המכניות, תכונות החשמליות, תכונות אופטיות...?

זה ספציפי לכל חומר. בעיה שהיא יותר כללית, לכל החוטים, קשורה בסדר, בארגון, שהחוטים האלה נוצרים, נגיד אם הם צומחים מאיזושהי נקודה, תחשבו על דשא, כשהדשא קטן אז זה יוצא ככה, אבל באיזשהו שלב זה מתחיל להסתבר, וננו צינורות וננו חוטים מסתבכים מאד מהר. מה שרוב המדענים והמהנדסים עושים, הם מנסים לפרק את הסבך, על ידי... בכוח, לחץ פיזי מתון מה שנקרא, עם הרבה סבון והרבה סוניקציה, גלים על-קוליים, מזעזעים את כל העסק כאן, ואם יש להם מזל, כמה מהצינורות והחוטים יישברו ויפלו איפשהו, על פרוסה של סיליקון, הם יחפשו איפה זה נפל, ואיפה שזה נפל הם ישימו אלקטרודות, יבנו טרנזיסטור אחד, יפרסמו ב-science, יהיה מאד נחמד אבל ככה אי אפשר לבנות מחשב שלם. אפילו בדיסק און קי יש GB16 אני צריך 16 מיליארד כאלה...

במקום לפרק את הסבך, אנו חוקרים תהליכים שמביאים להיווצרות של ננו חוטים וננו צינורות מסודרים. מה הכוונה "מסודרים"? או שהם מקבילים, או שהם צורות יותר מורכבות, נניח רשתות, סלילים, כל מיני צורות מעניינות.

כשיש צורות שונות, הצורה גם נותנת פונקציה לחומר שיכולה להזכיר לנו אפילו כל מיני צורות דומות בסקאל שלנו.

לגבי תכונות – מה שמעניין אתנו זה לא התכונה ספציפית אלא הקשר בין תכונות שונות. למשל איך עיוות מכני יכול לשנות את התכונות החשמליות של חומר. או איך סיגנל אופטי משנה תכונות חשמליות, כל הצימודים האלה יכולים להיות בסיס לחיישנים, למכונות, לכל מיני דברים שפועלים ועושים משהו מעניין.

אז המטרה שלנו בעצם, זה לחבר את ההכנה עם הסדר, לסדר דברים מסודרים, לאפיינם, ולהביאם לאיזושהי מערכת ננו תפקודית, לפחות ברמה של הוכחת העיקרון.

זה קצת איזושהי מפה של כמה עבודות שעשינו, והפרסומים. פרסומים נבחרים שאפשר לחלקם לשלושה כיוונים, אחד – גידול מונחה של ננו צינורות וננו חוטים שקשור לעניין הסדר שסיפרתי, אבחר סיפור שקשור לזה. ישנן מערכות ננו צינורות במבנים קומפלקסיים, מבנים מורכבים, שגם טיפה אספר על זה. והנושא השלישי זה פיתול של ננו צינורות ומערכות ננו אלקטרומכניות, כלומר הצימוד בין תכונות מכניות וחשמליות.

הסיפור הראשון – אדבר על עיצוב של ננו צינורות וננו חוטים ע"י משטחים. אוקיי? אז קצת, לא רוצה לחזור על עצמי במבוא, היה לנו מספיק מבוא, אבל כמו שאמרתי, מוליכים למחצה הם בעצם במרכז של הרבה-הרבה מכשירים שאנו משתמשים בהם היום, ויש איזשהו אתגר לייצרם יותר קטנים. וגם כשמייצרים מוליכים למחצה על משטח אחר, בד"כ יש חוסר התאמה בין סידור האטומים במוליך למחצה לבין סידור האטומים על המשטח, ואי התאמה יוצרת הרבה מתח ופגמים ואלה מקלקלים את התכונות האופטיות החשמליות של המוליך למחצה. כל זה מוביל לזה שלפני... ב-15 שנים האחרונות, או אפילו הייתי אומר... כן, 15 שנים האחרונות, יש הרבה עניין בננו חוטים של מוליכים למחצה. הם בעצם חוטים מאד דקים של מוליכים למחצה, השתמשו בהם לאלקטרוניקה, אופטואלקטרוניקה, אנרגית שמש, חיישנים, לבי-ממשקים, למשל להכניס ננו חוטים לתוך תאי מוח כדי לקרוא את האותות העצביים וכו'.

אבל, רוב הדברים האלה נעשו ברמה של חוטים בודדים, או חוטים לא מסודרים. איך אנחנו עוברים מהסבך הזה למשהו מסודר?

כמו שאמרתי, מה שרוב הקבוצות עושות, כשמגדלים למשל ננו חוטים, אחד התהליכים הכי נפוצים, מגדלים אותו מטיפה של מתכת, קצת כמו זקיפים במערה, אוקיי? יש פה איזושהי טיפה, והחומר בא מהגז, בצורה של אדים, מתמוסס בטיפה, הוא שוקע כמו איזשהו זקיף והטיפה, דוחף את הטיפה למעלה והם צומחים במקרה הטוב בצורה של יער. אם רוצים להשכיבם כדי ליצור מעגל צריך לקצור את החוטים, לפזרם באיזשהו נוזל ואז לנסות לסדרם ע"י זרימה או שפשוף, כל מיני דברים מאד מאד מגושמים, שבסופו של דבר יביאו לזה שהחוטים לא ממש מסודרים. אנו גם לא יודעים בדיוק איפה כל חוט מתחיל ואיפה נגמר, צריך לחפש אותם, כדי לדעת איפה להפיל את האלקטרודות.

רצינו להביא גישה שגילינו בטעות לפני כמה שנים, כשאני התחלתי, לפני 14 שנה, כשהייתי ממש בתחילת הפעילות כאן, סוף סוף הייתה לי מעבדה והיה לי סטודנט. והסטודנט הראשון שלי שקוראים לו אריאל ישמח, הוא היום חבר סגל היום באונ' ת"א, ורצינו לגדל ננו צינורות פחמן שכרתי קודם, זה כמו חלת דבש, הרעיון היה לשים שני פסי מתכת, להכניס לתנור, ותוך כדי שהצינורות גדלים מהזרעים, להפעיל מתח ושדה חשמלי בתקווה שהצינורות יגדלו במקביל לשדה. היו לי תוצאות ראשוניות עוד ממש בחודשים האחרונים שהייתי בהרווארד, שאפילו לא פרסמתי, שראיתי שיש הכוונה לשדה חשמלי, אבל אמרתי שהכוונה לא מי יודע מה, ולדעתי כי המשטח של מוליך למחצה קצת ממסך ומלקלקל השדה החשמלי. אני מציע לעבוד עם משטח מבודד לגמרי. החלטנו לעבוד עם ספיר – זוהי תחמוצת של אלומיניום, גביש יחיד שפורסים לפרוסות, שקוף, נראה כמו זכוכית. אבן מאד קשה, מזכרת

בתנ"ך, אחת מאבני החושן של הכהן הגדול, נדמה לי שבט יששכר, אם איני טועה, חומר ידוע, הזמנו חיתוך מסוים עם הסימטריה הכי גדולה... כלומר לגביש יש סימטריה משולשת – סיבובית של שלוש, ביקשנו שיחתכו אותו בניצב לציר הראשי... לא היה לי כוח להתעסק עם זה, רק רציני שדה חשמלי. אריאל עשה הניסוי, שם בתנור, הפיץ שדה חשמלי. בא אליי, אומר – ארנסטו תשמע, יש חדשות טובות וחדשות רעות. החדשות הטובות - זו תמונת ה- EFM, המיקרוסקופ כוח אטומי שהראיתי קודם. החדשות הרעות, הן שהצינורות גדלו מקבילים אחד לשני, כביכול מסודרים. זה הכי מסודר אני ראיתי אי פעם בנו צינורות פחמן. החדשות הרעות, הן שזה היה הכיוון של השדה החשמלי, והננו צינורות גדלו בכיוון אחר לגמרי. קצת לא קשור. – אריאל, בטוח שמדדת נכון את הזווית? לא טעית? קניתי לו מד זוויות... כל פעם הצינורות יצאו לכיוון אחר. הוא הפסיק להפעיל שדה חשמלי, היה ברור שזה קשור למשטח. אבל משהו לא מתאים לסימטריה של המשטח, כי המשטח אמור להיות עם סימטריה משולשת, כלומר היינו מצפים שהצינורות יגדלו בשלושה או שישה כיוונים שונים, אז למה גדלו רק בכיוון אחד? אמרתי – אולי משהו לא בסדר עם הספיר, אולי לא חתכו אותו כמו שצריך או לא בכיוון שצריך. מדדנו בקרני X את כיוון הגביש, התברר שקודם כול, אתם רואים? יש מלא שריטות. הוא קיבל כמה הצעות מחיר, עוד לא היה ERC, זה חומר יקר. הוא קיבל כמה הצעות מחיר וקנה הכי זול שהיה מחברה רוסית בסנט פטרבורג, איכות לא מי יודע מה. מסתבר שהם לא חתכו בדיוק במישור שביקשנו, אלא בסטייה של 2 מעלות, מעלה פה, מעלה שם, כל פרוסה הייתה חתוכה בצורה קצת שונה על העוקם, ואז אם האטומים מסודרים בשכבות, וחותר לא במישור שהשכבות מסודרות אלא בסטייה, האם המשטח חלק? מה יש לי על המשטח? יש לי מדרגות... אוקיי? אז מה שהתברר, זה שהצינורות, ברגע שיש מדרגות, והמדרגות האטומים שנמצאים במדרגה, איבדו את השכנים שלהם, הם לא מבסוטים אנרגטית, אם מנסים להידיבק למה שבא ליד. ברגע שמתחיל לגדול ננו צינור – בוא הנה, תיצמד לכאן. הצינורות איך שהם מתחילים לגדול, במקום לגדול כלפי מעלה ולהסתבר, הם גדלים לאורך המדרגות, הם דוחפים את הקטליזטור ומשאירים אחריו את הננו צינורות כמו זנב וגדלים בשיפוע לחיתוך. ואז ראינו גידול מונחה. אנו ממש מתווים את התוואי בו ילכו לגדול. זה היה ממש פריצת דרך אדירה, אני הייתי, לא הייתי כ"כ חכם, כי לא רשמתי על זה פטנט, הייתי מאד להוט לפרסם, ואפילו שלחנו אבסטרקט, אבל לפני 3 שנים, חברת IBM באלמדן, פרסמו בניצור, מאמר על אב טיפוס של ננו מחשב שמבוסס על ננו צינורות פחמן שמגדלים אותם לפי השיטה הזאת. עבדנו אח"כ עם ספיר שמיצור בעומר ליד באר-שבע, מייצרים הספיר כרצוננו, חותכים על העוקם, מדרגות לכאן, לשם, איך שאנו רוצים. ויצרנו את הננו חוטים הכי מסודרים. כמו שאמרתי, אנשים היום, בכל העולם משתמשים בשיטה הזאת. זו השיטה הכי יעילה לייצר מערכים מסודרים של ננו צינורות פחמן. בתנאים מסוימים חלק מהצינורות נמדדים לאורך מדרגות, חלק לאורך שדה חשמלי ובאפיייה אחת מקבילים רשת, שזה מקרב אותנו למבנה של מעגל.

כמה שנים אחר-כך, עשינו כל מיני משחקים על גביש אחר שנקרא קוורץ, שאולי אנשים שמעו עליו. כאן הננו צינורות גדלים כלפי מעלה, והם נופלים לאורך מדרגות, ואז הם נופלים כמו סרפנטינה, כמו דבש שנשפך, אבל נופל לאורך מדרגות ויוצר הצורה הזאת, זו צורה מעניינת כמו של מקרר... וממש בשנה האחרונה אנו פרסמנו מאמר שבו אנו גורמים לננו צינורות ליפול על עצמם, להתלפף סביב עצמם, ליצור סליל של יותר מ-70 סיבובים, ומנסים איתם לבנות אלקטרומגנט וליצור כל מיני מכונות. עדיין לא כ"כ עובד כי מקצר, ויש לנו דרך איך לבדד את הצינור, ע"י זה שיהיו לו כמה שכבות, ויש עכשיו סטודנט מאסטר שבדיוק עובד על זה, אלה תוצאות שקיבל לפני חודשיים, כשיצור סלילים כאלה של ננו צינורות עם כמה שכבות. אנו בתחילת פרויקט הגידול המונחה, חשבנו שזה אולי רעיון הגידול המונחה טוב לא רק לנו צינורות אלא גם למוליכים למחצה. חשבנו שזה לא יעבוד בגלל הקשר החדש עם המשטח, שיכול לגרום לפגמים, אבל היה לי סטודנט מאד אמיץ, דוד ציון, שהיה גם טייס בחיל האוויר, ולא אכפת לו לנסות משהו שיש בו סיכון, והוא הצליח בגדול. פורסם ב-science לפני שש שנים, חמש שנים וחצי. שבו הוא גידל ננו חוטים של מוליך למחצה מאד חשוב, שממנו עושים הלדים הכחולים והלבנים... הוא גידל ננו חוטים של גנונטריד גם על ספיר, וכמו שהיה עם הננו צינורות פחמן אבל עם כמה הבדלים – החוטים גם גדלו לאורך מדרגות, גם לאורך ננו תלמים, כלומר אם לוקחים משטח לא יציב, אז בטמפ' גבוהה הוא מתקמט כמו אקורדיון קצת. אם נגדל את החוטים לפני שיתקמט, כל החוטים הולכים לכיוון אחד. אם קודם מחממים את המשטח, הם גדלים בכיוון אחר, לאורך הננו תלמים האלה. כך אפשר ליצור מערכים מאד מסודרים של ננו חוטים שלא היו קיימים קודם ויכולים לגדול או לאורך כיווני אטומים מסוימים או מדרגות או תלמים, לאורך של מילימטר. קוטר ננומטרים ואור מילימטרים. אנו יכולים לחתוך את החוטים, עם המשטח, לעשות פרוסה דקה, ולהסתכל במיקרוסקופ האלקטרוני ולראות את הקשר בין האטומים של החוט... המשולש זה חתך החוט ולראות בדיוק את המנגנון, איך החוטים האלה מסתדרים ומעדיפים ללכת לאורך המדרגות או לפי התלמים אבל כדי למצוא הסיידור הכי מתאים בין האטומים הם גדלים בסיידור מסוים שגם קובע תכונות החומר. למרבה הפלא, מסתבר שלא נוצרים פה כמעט פגמים. מבחינת התכונות האופטיות והחשמליות, החומר הזה כ"כ טוב ואפילו יתור טוב מחוטים שגדלו כלפי מעלה, גם כשגדלו על המשטח. למה זה טוב? אנו יכולים לעשות כל מיני תקנים, כמו שאמרתי, טרנזיסטורים, לדים, חיישני אור, תאים פוטוולטניים, דברים שנעשו קודם עם חוט בודד אנו יכולים לעשות עם הרבה חוטים במקביל. בשיטה הקודמת צריך לגדל היער ולקצור והדברים לא מסודרים. פה אפשר לזרוע החוטים, לגדלם במקביל מסודרים ולשלוט על סידורם. זה מה שעשינו כאן, מארק שוורצמן, שהיה פוסט-דוקטורט אצלי אחרי שבא מאונ' קולומביה והיום חבר סגל באונ' בן-גוריון, הוא זורע הקטליזטורים, מגדל מהם החוטים, ושולט בדיוק על המיקום, הכיוון והאורך של כל חוט. כולם מסודרים כמו חיילים ויכול לבנות בבת אחת מאות טרנזיסטורים וכולם עובדים. יכול לבנות גם מעגלים יותר מורכבים, אדרס דיקוד – מעגל שמתרגם מספרים בינאריים לאנלוגיים, קיים במחשבים, וזה עובד.

הולך לעשות משהו מאד אכזרי ולא הוגן כלפי הסטודנטים שלי. בפרויקט הזה מספר לכם 3 שנים בשקף אחד. הרחבנו להרחבה חומרים ומשטחים שונים. יש כל מיני דברים – ZNSE, ZNO, חומר שמגיב לאור ואיתו עשינו חיישני אור UV וכחול. זינג טהניורי, יש לו עודף של מטענים חיוביים ופה שליליים. קניוסלמיד, זה חומר הלייזר שהזכרתי קודם. גם פוטודטקטורים...

מאמר שהתקבל לפני יומיים בו עושים חוטים ממולאים של שני החומרים האלה, שיש להם פעילות פוטולטאית. כל מיני משטחים, סיליקרון קרביד, קווראץ, ספינל.

אז רק לסכם את החלק הזה, את הסיפור הזה. כשאנו פרסמנו, אז היה איזשהו היילייט שיצא בעיתון EANS שהישוו לשיטות בחקלאות כשעושים גידול מונחה של גפנים למשל, יש סוג של הקבלה, אבל מצאתי, סטודנט שלי מצא מאד נחמד, יש תופעה שאפשר לראות במכון ויצמן, יש הרבה פיקוסים, אז השורשים של הפיקוס מחפשים את הלחות בין הבלטות, ואז הם גדלים לאורך החריצים... זה בדיוק גידול מונחה. תופעה הרבה כללית. זה דוגמה לגידול מונחה.

עכשיו אספר בקצרה את הסיפור השני, שהוא לא קשור לסדר אלא יותר צימוד בין תכונות. זו השאלה מה קורה כשמתלים ננו צינור. היה ידוע לכל אחד בתחום של ננו צינורות, שננו צינורות פחמן יכולים להיות מתכתיים כמו נחושת או מוליכים למחצה כמו סיליקון, תלוי בקוטר והסליליות של הצינור. הצינורות האלה יש להם כל מיני צורות וטעמים שונים, אם אקח את חלת הדבש של הפחמן, אפשר לגלגל בכיוונים שונים, אקבל צינור... לא ממש מגלגל אבל אפשר לדמין את זה כדף מגולגל, יש להם סליליות מסוימת והיא קובעת את האופי. השאלה הייתה מה יקרה אם אשנה את הסליליות. היו לי ויכוחים הרבה עם פיזיקאים באלבירה בכנסים, אחרי הכנס אמרו – לא, אי אפשר לשנות את הסליליות... מה לא? אפשר פשוט לפתל אותו. אם יש לו סליליות ימנית ומפתלו ימינה, אני מגדיל את הסליליות. אם אני מפתלו שמאלה, מקטין את סליליותו. מה יקרה אם אפתל ננו צינור? האם יוליך יותר חשמל? פחות חשמל? אותו דבר? או משהו אחר? מה אתם חושבים? לא שומע...

יותר.

מישהו חושב שיוליך פחות?

80% מהאנשים אומרים פחות, כולל פיזיקאים, תיאורטיקנים, מומחים למצב מוצא ולצינורות – זו האינטואיציה. איך עושים את זה? בונים התקן שבו יש צינור, שמים על הקצוות אלקטרודות מזהב, וכאן באמצע אני שם מלבן קטן מזהב, שישמש כדושה. אח"כ ממיס את חלק מהמשטח כדי שהצינור והדושה יישארו עומדים באוויר. ואני בנתיב של EFM, מיקרוסקופ כוח האטומי, מסתכל קודם ואז לוחץ ואז אני לוחץ אל הדושה, הדושה זזה, ממש כמו לחיצה על הגז במכונית שלנו, ואז הצינור מתפתל ואני מודד את ההולכה. קודם כול יצרנו את ההתקנים האלה וראינו שבאמת רק מחשמל סטטי רואים שהדושה מסתובבת, אבל כדי לעשות את זה כמותית אנו מודדים את הכוח. מבלי להיכנס לכל הפרטים, אנו מודדים את ההולכה כפונקציה של הפיתול, של זווית הפיתול, אנו רואים שכשאנו לוחצים על הדושה, מפתילים את הצינור, ההולכה בהתחלה יורדת, עולה, יורדת, עולה... עושה תנודות כאלה. אנו מעלים בחזרה, לוחצים שוב, עוד פעם עושה עליות וירידות. יש כאן תנודות! זה לא עולה או יורד אלא עולה ויורד, עליות וירידות.

זו התשובה. זה לא זה ולא זה, אלא משהו יותר מורכב.

התנודות האלה הן תנודות קוונטיות, הן נובעות מהאופי הגלי של האלקטרונים שנמצאים בתוך הצינור. את זה פרסמנו בגיליון הראשון של העיתון החדש הזה שיצא, שנקרא nature nano technology, הוא הכי חשוב בעידן הזה, ועשינו זאת לפני 10 שנים.

הראינו שהקפיץ יכול להיות קפיץ פיתולי וגם חיישן לסיבוב, זה מה שצריך כדי לבנות גירוסקופ. זה חיישן לסיבוב. בראש טילים בליסטיים, של מזל"טים, זה נותן את הכיוון למזל"ט, אבל אם ארצה לעשות טיל נורא קטן, הגירוסקופ הכי קטן בשוק יש לו גודל מילימטר. אם ארצה לעשות טיל שייכנס דרך חור של מנעול של דלת – הוא לא מספיק קטן. אבל צינור עקרונית יכול לייצר ננו גירוסקופ, הרבה יותר קטן, על זה קבלתי מימון ממשהב"ט ואח"כ חיל האוויר האמריקאי, והצי, ולפני שבאתי לכאן הייתה לי פגישה עם אנשים מחיל הים האמריקאי, שנותנים לי כסף לפיתוח הזה. מה שעשינו השנה, ממש בנינו רזונטורים, כמו נדנדות כאלה, מאד מאד מהירות, שבהם הצינורות מתפתלים, צינורות מסוגים שונים ואנו מתקדמים, לפחות ברמת הוכחת העיקרון, שעם הצינורות האלה אנו יכולים לבנות החיישנים האלה והראינו למשל שהננו צינור הכחול לבן שהתגלה פה מתנהג יותר טוב מהצינורות האחרים.

עכשיו, חושב שאנו צריכים לסיים, אבל אולי חמש דקות אקח...

ש: שאלה – מה ההבדל בין חוט לצינור? לא ברור לי.

ת: שאלה מצוינת. יש למישהו רעיון? מה ההבדל? הצינור חלול...

ש: ברור, אבל...

ת: תראה, מנגנון הגידול מאד דומה. יש חומרים שיש להם מבנה תלת-מימדי. אוקיי? שיש להם קשרים קוולנטים, קשרים חזקים בכל הכיוונים, כמו סיליקון או רוב החומרים שהראיתי כאן, ננו חוטים, גלומיטריד, החומרים האלה לא יכולים להתגלגל... כלומר הם חומרים מאסיביים, קשיחים, אפשר רק לגלגלם או לגדלם דקים אבל הם יהיו מלאים, כלומר אלה יהיו ננו חוטים. אבל חומר כמו פחמן, כמו טונסדיסולפיד, בורוניטריד, אלה חומרים שכבתיים, כלומר יש להם קשרים מאד חזקים, קשרים קוולנטים חזקים בתוך מישורים, אבל המישורים יש ביניהם קשר מאד חלש... תחשוב על בצק עלים, או חפיסה של דפים... יש חפיסה של דפים, הרבה יותר קל לגלגל אותה, מאשר אם יש לך לבנה... נכון? אז החומרים האלה יש להם יותר נטייה להתגלגל וליצור צינור חלול.

אוקיי. עכשיו, מה החשיבות ומה אפשר לעשות בנו חומרים ואיך ננו חומרים יכולים לשנות החיים שלנו בעתיד?

יש כמה תחומים מאד מאד חשובים ומאד חמים. אחד – תחום של אלקטרוניקה וטכנולוגיית המידע. יש לנו מחשבים, זה דווקא הייתי אומר, זה משהו שחשבו בהתחלה... זה פחות מעניין. למה? כי המחשבים שלנו היום הם כבר ננו. טכנולוגיית הסיליקון כ"כ התקדמה, שקשה להתחרות. אבל יש אלקטרוניקות אחרות, עם פונקציות אחרות. למשל אלקטרוניקה גמישה, שאפשר יהיה לעשות מעגלים על דף של ספר. על פני העור, כמו מדבקת מים שהילדים... שמקבלים את זה עם צעצועים, הם שמים מדבקת מתחת למים שנדבקת לעור, קעקוע חד פעמי זה, אפשר לעשות את זה עם מעגלים חשמליים, שיכולים למדוד ריכוז של גלוקוז בדם או לעשות כל מיני אלקטרוניקה. ויש אלקטרוניקה שאפשר להזריק, אלקטרוניקה שאפשר לבלוע, ממש אני לוקח אקמול שבתוכו יש צ'יפ שנכנס בפנים... זה כבר דברים שנעשים היום.

בתחום של אנרגיה והסביבה, זה תחום סופר-סופר חשוב, שבו מנסים לייצר תאים סולריים יותר יעילים ע"י זה ששולטים על המבנה של החומר ברמת הננו. יש פעילות פה במכון ויצמן, בקבוצת של קולגות שלי, של דוד כהן, וגרי הודס, ואחרים, שעובדים על זה, גם בבטריות יש לנו חוקרת חדשה שעובדת גם... עכשיו ממש היא, מיכל לסקס, עושה חנוכת מעבדה בשבוע הבא שהולכת לחקור את מבנה בטירות שבנויות מננו חלקיקים. וגם בטיפול בשפכים, כל מיני חלקיקים שיכולים ללכוד את השמן ולרכזו, אם יש שפיכה של שמן על פני הים.

אופטיקה ואופטואלקטרוניקה – מסכים של מכשירים... היום אמזון קינדל, שאנשים מחזיקים, המסך, הצבעוני, בנוי מננו חלקיקים של קדיוסלנין, החומר הצבעוני שהראיתי בהתחלה. אנו עושים עבודה גם על חיישני אור, ננו לייזרים, ננו לדים. זה הולך להיות מהפכה שממש ממש הולכת ומתהווה.

מערכות ננו אלקטרומכניות כמו שהראיתי, וזה קשור בדור הבא למה שאנשים חולמים על ננו רובוטים, כל מיני מנועים או מכונות שייכנסו דרך הדם ויגיעו לרקמה ויתקנה, יעשו עבודות שיפוץ בתוך הגוף שלנו. חומרים חכמים שיכולים לווסת את החום, למשל בבגדים שלנו או את הלחות. יש תחום מאד מאד חשוב targeted drug delivery שזה העברה מכוונת של תרופות. היום כשאדם מקבל תרופה, בולע, זה מגיע לכל הגוף, מרעיל כל הגוף... חמותי עברה כימותרפיה, איבדה כל השערות שלה. זה טיפול מאד מאד קשה. אבל תארו לכם שלוקחים את התרופה לננו קפסולה שיש לה כתובת, רק למולקולה מסוימת, וצריך הרבה פחות תרופה והיא לא מרעילה כל הגוף.

ננו אף שיכול להריח בנשיפה של האדם אם יש לו סרטן, זה מבוסס על ננו חלקיקים.

ביוממשקים, סטודנט לשעבר שלי עובד על זה, הוא עכשיו פרופסור, ב-ק.מ. ליבר, חיישנים שמודדים בתוך תאים.

משהו יותר עתידי – מדברים על נורואלקטרוניקה, וננו ביוניקה... כלומר שילוב ננו חומרים בתוך מערכת חיות. יש פיתוח למשל אונ' ת"א של יעל חנני, יש להם אפילו חברת סטארטאפ שהם יוצרים רשתית מלאכותית שמבוססת על ננו צינורות פחמן, שמאפשרת לאנשים עיוורים לראות. יש אנשים שעובדים ממש על יצירת ממשק בין מוח למערכת אלקטרונית, ואם זה יקרה, אז אנחנו נוכל לתקשר בכל מיני דרכים ישירות עם מכשירים שגם מקושרים ביניהם. דמיינו שהיום אני, נגיד אני הולך לסופר ואשתי רוצה להזכיר לי שצריך לקנות עגבניות, מלפפון וכל מיני דברים, היא שולחת לי וואטסאפ, צריכה לתקתק, אני צריך לקרוא.... ולהוציא את האייפון מהכיס, להסתכל.

דמיינו שלש לי איזשהו צ'יפ, ולאשתי גם יש צ'יפ, היא חושבת שאני צריך להביא עגבניות ומלפפון ואני תוך כדי שאני הולך בסופר אני מקבל את המסר הזה בלי לעשות כלום... הדבר הזה יש לו שם. קוראים לזה טלפתיה...

ש: בטוח שרוצה כזה דבר?

ת: ממש לא! עם הוואטסאפים יש לי מספיק... זה באמת מעלה כל מיני שאלות אתיות, אבל קודם כול יכול להיות שאם יש לך חייילים בקרב, ואתה צריך להעביר ולתקשר ביניהם, כשיש בומים מסביב, אולי זה לא יזיק להם שיוכלו לתקשר ביניהם בצורה יעילה או לקבל מפה של המקום שבו הם נמצאים. יכול לחשוב על הרבה הרבה תרחישים שבהם הדבר הזה יכול להיות לטובת האנושות ושלא ישעבד אותך לרשימות הקניות של אשתך.

אפשר לחשוב על טלקינזה, להפעיל דברים דרך המוח, זו הרחבה של המוח שמי שקרא את הספר של יובל הררי שמדבר קצת על איך שהאדם בעתיד יכול להיות שיהיה משהו שאנו כלל לא מדמיינים, היום גם מדברים על מה שנקרא האינטרט של הדברים – היום האינטרט מחבר בין מחשבים, אבל אם לכל מיני דברים יהיו חיישנים, הם ידברו זה עם זה, כל החפצים בבית ידברו איתנו ודרך המוח... זה פשוט פתח להרבה דברים, גם רעים וגם טובים, אבל יכול לשנות את העולם שלנו, של הילדים שלנו, של הנכדים שלנו, בצורה שאנו לא ניכיר צורה כזו.

בזה אני רוצה לסיים.

אה, סליחה, מה יש היום – אמרתי, קינדל... אפילו באיפון שלנו, בשדרוג האחרון שנעשה במכון, כבר יש ננוטריזיסטורים.

יש סיפור מאד יפה, של רשף טנא שהוא גילה לפני כמה שנים ננו בצלים, שכששמים אותם בין משטחים הם מתגלגלים ומורידים את החיכוך, והרבה יותר טוב מכל שמן שקיים. זה חומר הסיכה הכי טוב שקיים. כבר ממש מתחילים למסחר את זה, ויש אפילו באיזשהו תחנת כוח באקוודור, שמו החומר המוצק בתוך הטורבינות, כבר העלה יעילותם במעל 40%.

מילה אחת שאני רוצה לומר על הפילוסופיה של מכון ויצמן ולמה אנו יכולים לעשות דברים מאד ייחודיים. אנו לא עושים מטרה מוגדרת.. אנו מנסים ליצור ידע חדש, מונעים ע"י סקרנות, ברגע שמגלים תופעה חדשה או מבינים תופעה שהייתה ידועה אך לא מובנת, אנו יוצרים ידע חדש, ואז אפשר לחשוב למה זה יכול להיות טוב. זה להרבה דברים שלא חשבנו קודם, שאם היינו הולכים בדרך הזאת לא היינו מגיעים אליה. זה מה שיכול לעשות את חידוש הקונספטואלי, לא רק במדע אלא גם בטכנולוגיה.

בזה רוצה להודות לסטודנטים ולספונסרים שלנו, זו הייתה קבוצה לפני שקבלנו את ה-ERC, לפני כמה שנים. קראתי לחבר'ה לפגישה דחופה, לא ידעו למה, אבל כשראו אותי, נכנס עם העוגה הזאת וראו את הקישוט בעוגה, הבינו שכנראה המאמר שהם שלחו ל-Science התקבל וכשחותכים את העוגה, אפשר לראות את הקשר בין האטומים של הקישוט והעוגה... תודה רבה על ההקשבה.

קן.

ש: ם אפשר למנוע היחלשות של החוליה החלשה?

ת: זאת שאלה השאלות... שאלת מיליון הדולר. עובדים מאד קשה על זה, והשאלה היא... זו לא שאלה חדשה, אלא שאלה שאנשים עובדים עליה מראשיתו של מדע החומרים, אבל היום ההבנה שלנו והדרך שלנו לאפיין את הפגמים האלה בקנה המידה שלהם, יכולה לקרב אותנו למצב שאנו נוכל או לבטל את הפגמים האלה או באמת לסלקם, כמו שאתה אומר. זה גם דבר שעובדים עליו, למשל בננו צינורות פחמן, היה רעיון לבנות מעלית לחלל. משהו מאד רציני. הרעיון היה ישן, אבל חשבו שזה בלתי אפשרי. היה כנס של נאס"א שממש מנסים לעבוד על זה. מה הבעיה? שהצינורות הבודדים היה להם פגמים, אבל ברגע שאתה מדביק אותם... כלומר אם לא מדביקים אותם הם מחליקים, ואם מדביק אתה קצת מקלקל. אז איך לאכול העוגה ולהשאיר שלמה? נושא של הרבה מחקר היום. זאת שאלה מאד טובה, אבל אין לי תשובה.

יש לכם עוד שאלות?

קן, טוב, תודה רבה.