

בביתן קטן בתל אביב, קבוצת פרופסורים עובדת על ההמצאה שתשנה את העולם

מתמטיקאים, פיזיקאים ומומחים למדעי המחשב עובדים על המצאה שמתיימרת לטלטל את מערכות חיינו לפחות כמו האינטרנט — מערכת הפעלה למחשב קוונטי ■ האם יש להם סיכוי להצליח?

אמיתי זיו

09 ביולי 2021

עקוב 

תקציר הכתבה ב-81 מילים

הרחק ממגדלי ההייטק של רחוב הארבעה בתל אביב פועל אחד הסטארט־אפים המעניינים בישראל — קוראים לו קדמה (Qedma), הוא יושב בפריקסט בגני התערוכה, ואפילו שלט על הדלת אין. בכל אחד מחמשת החדרים מסתופפים שלושה־ארבעה אנשים. בחלק מהחדרים אין חלון, גם מקרר כיבודים אין. על השולחן המרכזי משהו הניח כמה בורקסים. אבל בחוץ יש דשא רחב ידיים וציוץ ציפורים.

"רצינו לשבת במקום שנותן למוח שלך לעבוד, והאוויר פה מדהים", מסביר ד"ר אסיף סיני, היזם והמנכ"ל של החברה. יש עוד סיבה למיקום החריג: קדמה היתה זקוקה לנוף כמה שיותר "אקדמי" אם אפשר לומר זאת, בגלל אופי האנשים בה, דוקטורים ופרופסורים רובם ככולם. "בגלל תחום העיסוק שלנו, מחשוב קוונטי, נדרשים אנשים שגם יודעים לתכנת ברמה גבוהה וגם בעלי הבנה בפיזיקה או במתמטיקה".

סיני עובר חדר חדר ומציג בפנינו את עובדי החברה: בוגרי תלפיות ושאר יחידות השכל של צה"ל, כמה פרופסורים למדעי המחשב וכמה פרופסורים לפיזיקה. חלק מהאנשים הם גם וגם וגם. קוד הלבוש: סנדלים ומכנסיים קצרים.

הנבחרת הזו נדרשת משום שקדמה היא חברה עם יעדים שאפתניים. היא עוסקת באתגר שנמצא בחזית המדע: מחשוב קוונטי, אחת ההבטחות הגדולות של עולם הטכנולוגיה בעשורים הקרובים. אם תתממש — ומדובר באתגר עצום ויומרני — היא תשפיע על החיים של כולנו.

המחשב הקוונטי יכול להימצא בכמה מצבים בעת ובעונה אחת (לא רק 0 או 1 כמו המחשב שאנחנו מכירים) ולכן יכול תיאורטית לחשב דברים שכיום אי־אפשר לחשב בזמן סביר. מחשב קוונטי יוכל לסייע

בפיתוחים מתחום הכימיה, הפיננסים, הפיסיקה והאקלים. קחו לדוגמה את תחום הלוגיסטיקה. בעיה קלאסית במתמטיקה מכונה "הסוכן הנוסע" (Travelling Salesman Problem). מהו המסלול הקצר ביותר לסוכן שנוסע בין 14 ערים? מחשב רגיל יכול לחשב את זה ב-100 שניות. אבל אם נגדיל את מספר הערים, מספר האפשרויות יגדל באופן מעריכי. לדוגמה, אם נבחר 16 ערים, למחשב ייקח שנתיים להגיע לפתרון, ואם נעלה ל-20 ערים — 193 אלף שנה. מחשב קוונטי יכול "להימצא" בכל הצירופים במקביל, ולכן יכול תיאורטית לפתור בעיה כזו בזמן קצר. דוגמה מדוברת נוספת היא סימולציה של תהליך כימי מרובה מרכיבים.

הדגש הוא על המילה "תיאוריה", כי כרגע זה רחוק מאוד. ב-2019 השלים מחשב קוונטי של גוגל ב-200 שניות משימה שמחשב על ישלים ב-10,000 שנה, אך זה היה חישוב שאין לו שימוש מעשי ישיר. באותה שנה הדגימה יבם 2019 יכולת הערכה לגבי עלייה או ירידה של תיק מניות באמצעות מחשב קוונטי.

"אנחנו נמצאים בשלב שמכונה NISQ (Noisy intermediate-scale quantum)), השלב הרועש של המחשוב הקוונטי, שבו לא יכולים עדיין לפתור בעיות אמיתיות של האנושות", מסביר סיני. ב"רועש" הכוונה היא שקשה מאוד לדמות לאורך זמן את המצב הקוונטי הנדרש לחישוב. יש לכך פתרונות חישוביים, אבל הם נמצאים בעיקר במאמרים אקדמיים — בתיאוריה. "צריך להקיף את המחשב הקוונטי בעוד שכבות אלגוריתמיקה", מסביר סיני, "כדי שהמחשב יהיה שימושי".

סיני אסף רבים מהאנשים שכתבו את המאמרים האלה. במסגרת חברה מסחרית, מגובה בהון סיכון, הם מנסים "למחשב" אותם לפתרון אמיתי שעובד. "מערכת הפעלה קוונטית", הם קוראים לזה. "אנחנו מייצרים את הווינדוס של המחשוב הקוונטי, שתעזור ליצרני המחשבים האלה להיות מדויקים יותר", הוא מסביר. אם דרכה של קדמה תצליח, בעוד כשנה יהיה מוצר מסחרי ראשון בחוץ.

ניסה לשכנע את גוגל

סיני, בן 38, נשוי ואב לתינוקת, גדל בחולון. "בבית הספר היתה לי מורה לפיזיקה בשם פיליפיה. כשהייתי בכיתה י' היא אמרה לי 'אתה תלך לתלפיות'. לא היה לי מושג מה זה, אבל היא כיוונה אותי בחיים. זו היתה שיטה אצלה: היא שלחה עוד שניים מהתלמידים שלה לתלפיות, אחד מהם הוא שלומי שגדול ממני בכמה שנים, ובאמת נפגשנו בצבא ואחר כך במכון ויצמן, והיום הוא עובד בקדמה. עד היום אני בקשר איתה". שלומי הוא פרופ' שלומי קוטלר מהאוניברסיטה העברית, שפירסם באחרונה במגזין Science מחקר פורץ דרך על שזירה קוונטית.

סיני השלים בגרות במתמטיקה בכיתה י', והתחיל לקחת קורסים באוניברסיטת בר אילן כתלמיד תיכון, עד שסיים את התואר בגיל 18 והתגייס לתלפיות. אחרי ההכשרה שירת כקצין ברפאל ועסק בפיתוח אמצעי לחימה. בין היתר, הוא פיתח שעון אטומי זעיר ששימש את מערכת כיפת ברזל. התחנה הבאה שלו היתה מכון ויצמן. "עבדתי שם על מערכת פיזיקלית מורכבת בגודל שני חדרים. קיבלתי אותה

בירושה והיא לא עבדה. אז הלכתי למנחה שלי, פרופ' ניר דוידזון, ואמרתי לו 'אני הולך לבנות הכל מחדש'. הוא אמר לי 'אתה משוגע. את המערכת הקודמת בנו חמישה אנשים'. עבדתי על זה שש שנים, שישה ימים בשבוע, 18 שעות ביממה, והצלחתי". את המערכת הזו ניתן לכנות קדם־מחשב קוונטי — מערכת שמקרת יסודות כימיים לטמפרטורה קרובה לאפס המוחלט, כדי לראות אפקטים קוונטיים.

אחרי השלב הזה עבר סיני לתעשייה, ועבד שלוש שנים כחוקר במג'יק ליפ, חברה אמריקאית שפיתחה משקפי מציאות רבודה והחזיקה מרכז פיתוח גדול בתל אביב. "זה היה בית ספר מדהים, והפעם הראשונה שנפגשתי עם דברים כמו סייבר ועיצוב שבבים". ב-2019 החליט סיני לעזוב את מג'יק ליפ ולהמשיך לתחנה הבאה, היזמית — הימור מוצלח בהתחשב בכך שמג'יק ליפ נכשלה ומרכז הפיתוח הישראלי חוסל.

סיני ידע שהדבר הגדול הבא יהיה בקוונטום. בהתחלה הוא ניסה לשכנע את גוגל לבנות את המחשב הקוונטי שלה בישראל. הוא יצר קשר עם מוביל הפרויקט בגוגל־איקס, זרוע העתידנות של גוגל. "הוא ענה לי, ואמר — בוא נדבר בסקייפ. אמרתי לו שאני מעדיף לדבר פנים אל פנים", משחזר סיני. "הוא שאל אותי 'תטוס לכאן בשביל שעה?'. השבתי בחיוב ועליתי על מטוס".

גוגל הגדולה לא השתכנעה, אז הוא החליט לגשת לבעיה מכיוון אחר. "הבנתי שיהיה קשה להתחרות בגוגל וביבמ במרוץ לבניית מחשב קוונטי, מבחינת החומרה, כי צריך המון כסף, אבל ידעתי גם שיש בעיות בעולם הזה שניתן לפתור רק בעזרת תוכנה, ובישראל נמצאים האנשים הכי חזקים בעולם בתחום הזה. התחלתי להסתובב, ראיינתי 30 פרופסורים ושאלתי אותם 'מי האנשים הכי מומחים בארץ במחשוב קוונטי? מה הרעיונות שהכי קרובים למימוש?' עד שהגעתי לשני שמות: פרופ' דורית אהרונוב ופרופ' נתנאל לינדנר".

לאהרונוב, המדענית הראשית של החברה, יש קריירה אקדמית עשירה ומגוונת: "קפצתי בין האוניברסיטה העברית למכון ויצמן ובין מדעי המחשב לפיזיקה ומתמטיקה", היא מספרת.

לאחר הפוסט־דוקטורט שעשתה במשך שנתיים (שנה באוניברסיטת פרינסטון במחלקה למתמטיקה ושנה באוניברסיטת ברקלי במחלקה למדעי המחשב), מונתה לפרופסורית במחלקה למדעי המחשב והנדסה באוניברסיטה העברית. ב-2005 בחר בה מגזין Nature לאחת מארבע "ההתיאורטיקנים הצעירים הבולטים ביותר בתחום עשייתם". אהרונוב היא אצולת קוונטום: אביה הוא המתמטיקאי דב אהרונוב, ודודה הוא הפיזיקאי יקיר אהרונוב, שכבר ב-1959 תיעד תופעה קוונטית פורצת דרך.

הנושא של הדוקטורט שלה הוא רעשים בחישוב קוונטי. דוגמה מוכרת ליכולות של מחשב קוונטי היא היכולת לפרוץ את ההצפנה הסטנדרטית שבה משתמש היום עולם המחשוב, המכונה RSA. "כבר בשנות ה-90 אמרו החוקרים שעם מחשב קוונטי הם יוכלו לפצח את ה-RSA, אבל מחשב קוונטי אז

היה חלום", מספרת אהרונוב. "אני רציתי לבדוק אם אפשר לחיות אפילו עם הרעשים, ובדוקטורט שלי הצלחנו להוכיח שמתחת לסף מסוים של רעש ניתן לבצע חישובים קוונטיים".

תחום נוסף שאהרונוב עסקה בו, וכיום הוא חלק חשוב בקדמה, הוא מה שמכונה וריפיקציה קוונטית. המחשב הקוונטי הוא סוג של קופסה שחורה, לא תמיד אפשר לדעת מה הוא עושה, אז איך ניתן לסמוך על הפלט? "הראינו באמצעות רעיונות ממדעי המחשב של 'הוכחה באפס ידיעה', שניתן לוודא שהמחשב הקוונטי עושה מה שהוא צריך".

איך זה עובד?

"נגיד שאני טוענת שאני יודעת להגיד כמה עלים יש על העץ הזה", אומרת אהרונוב ומצביעה על אחד העצים בחוץ. "אני אומרת לך מספר, אבל אין לך דרך לבדוק. מה שאתה יכול לעשות הוא לבקש ממני לעצום עיניים ואז ללכת לקטוף כמה עלים, ואז לשאול אותי שוב. אם הפחתתי מספר נכון, אז כנראה שאני יודעת לספור את העלים בעץ. אז בדומה לך, באמצעות שינויים קטנים בפרמטרים, אפשר להגיע לוורפיקציה של המחשב הקוונטי".

נתנאל לינדנר הוא ה-CTO, מנהל הטכנולוגיות של קדמה. "למדתי תואר ראשון בפיזיקה ומתמטיקה בטכניון ותואר שני בחישוביות קוונטית. לאחר מכן חיפשתי קשר קרוב יותר לפיזיקה ניסויית", הוא מספר. הוא עורך ניסויים וכותב מחקרים, ואת הפוסט־דוקטורט מבלה בקלטק, המכון הטכנולוגי של קליפורניה, מוסד מחקר שבודדים מכל העולם מתקבלים אליו מדי שנה.

"המחשוב הקוונטי יכול להיות הדבר הכי גדול שיקרה בעולם ב-10-20 השנים הקרובות", אומר סיני. "הוא ישפיע על האנושות כמו מהפכת האינטרנט, ואנחנו מתחרים בחברות הכי גדולות בעולם. אם אנחנו רוצים להקים חברה שמשנה את פני המחשוב, חייבים לבנות את הצוות הכי חזק שיש".

קדמה הוציאה חוקרים מבטיחים מהאקדמיה.

סיני: "זה לא המצב. לקח לי שנה להגיע להסכמים מסודרים עם חברות מסחור הידע של האוניברסיטה העברית והטכניון, כדי להסדיר את התנאים המסחריים. שנית, ההסדר הוא שלשותפים יש קבוצת מחקר שהם צריכים לשמור באקדמיה, וחלוקת הזמן היא 80% בקדמה ו-20% שם. אנחנו לא יכולים לחיות ללא האוניברסיטאות. נכון שהמחשוב הקוונטי הגיע לשלב בשלות, שבו הוא מתחיל לעבור מהאקדמיה לתעשייה, אבל יש חלק שיישאר באקדמיה, וזו סינרגיה — כמו שמובילאיי היא תולדה של סינרגיה".

"האיזון חיוני", מוסיף לינדנר. "צריך שהיו אנשים שמזיזים את האבנים מלמטה. האקדמיה עוסקת בנושאים עתידיניים. גם סיליקון היה פעם דבר שעושים באקדמיה, וטוב שהוא עבר לתעשייה".

אז אפשר לשאול הפוך — לא מפריע לך שאתה מקבל עובדים שהם 80%?

סיני: "אני מקבל אותם 120%. אנחנו מתכתבים בכל שעות היום. רק חבל שהם עובדים בקצוות שונים של היום".

"הבאנו את האקדמיה לקדמה"

קדמה היא אחת מקומץ קטן מאד של חברות הזנק בתחום הקוונטום: יש כמה כאלה בישראל, וכמה מאות בעולם. לשם ההמחשה, בישראל לבדה יש 700 סטארט־אפים בתחום הסייבר.

"מערכת ההפעלה" הקוונטית של קדמה בנויה בשלב הראשון ממה שמכנים בחברה שלושה "מודולים". כל מודול הוא למעשה פתרון מבוסס על אלגוריתמיקה לאתגרים של המחשוב הקוונטי. "במחשב הקוונטי, אם אתה עושה פעולה מסוימת ומצפה לקבל תוצאה והיא לא מתקבלת, קשה לך להבין למה", הוא אומר. "המודול הראשון שלנו הוא איפיון: מה מקור הרעש וכמה המחשב רועש. אולי יש פגם במתחים שמוזנים, אולי יש רעש שנובע מסביבה אלקטרומגנטית או מפגם בייצור. אנחנו גם אומרים לך איזה קיוביט (יחידת החישוב הבסיסית במחשב קוונטי; א"ז) תקול. זו זכוכית מגדלת. המודול השני הוא קונטרול. צריך לשלוט בזה. במחשב הקוונטי יש המוני כפתורים שצריך לכוון, כמו תדירות גלי מיקרוגל או עוצמה של לייזר. המודול האחרון נוגע לדיוק, הוא יודע לשפר את הדיוק של התוצאות".

זו אלגוריתמיקה מהאקדמיה או שאתם כתבתם אותה?

סיני: "בשלב הזה זו כבר אלגוריתמיקה שאנחנו כתבנו ומפתחים In House. הבאנו את האקדמיה לקדמה. הגענו לרעיונות יפים שחלקם יכולים להיות מאמרים טובים, אבל המטרה שלנו כרגע היא שהמחשב יעבוד".

כדי לבדוק את כל הפיתוחים קדמה צריכה לרוץ על מחשב קוונטי כלשהו, וזה לא קיים בישראל, ולכן היא עושה את זה דרך הענן. כמה ענקיות טכנולוגיה, כמו יבמ ואמזון, מציעות גישה למחשב קוונטי דרך האינטרנט. השירות הזה אמור לעלות כסף, אבל קדמה הגיעה להסדר עם כל הענקיות שהיא לא משלמת. גם את כוח המחשוב הרגיל שלה, הלא־קוונטי, לחישובים המורכבים, קדמה מקבלת בחינם.

מה תעשו אם אחת מהן תתקשר מחר ותציע לקנות את החברה ב-100 מיליון דולר?

סיני: "לשנות את איכות החיים שלי אני לא אשנה בכל מקרה, אבל אם נצליח לעשות מה שאנחנו מנסים לעשות בקדמה, ניכנס לספרי ההיסטוריה. אלה דברים שישפיעו על האנושות. אם זה אכן יקרה, קדמה תהיה חברה ששווה מיליארדים. אבל אני עוד לא פרעתי את הצ'ק שלי".

למה בחרתם בשם קדמה?

סיני: "רצינו שם בעברית, ורצינו משהו עם משמעות. קדמה זה מזרחה, ויש בה את האות Q של קוונטום".

קדמה גייסה 4.7 מיליון דולר, בגיוס הנבטה, מקרן הון הסיכון TPY ומהטכניון. זהו סכום לא גדול לתקופה זאת ובוודאי ביחס לאתגר שהיא ניצבת מולו. "מנכ"ל צריך להתנהג באחריות", מסביר סיני, "יכולתי לגייס יותר, אבל המטרה שלי היא לעבוד בשלבים. הכסף הזה מספיק ליעד, לאבן הדרך שקבענו לנו, ורק כשנגיע אליה נגייס את הסבב הבא".

לחצו על הפעמון לעדכונים בנושא:

 סטארט אפ  היי-טק