

השפעת תורת הקוואנטים על ננו־אלקטרוניקה

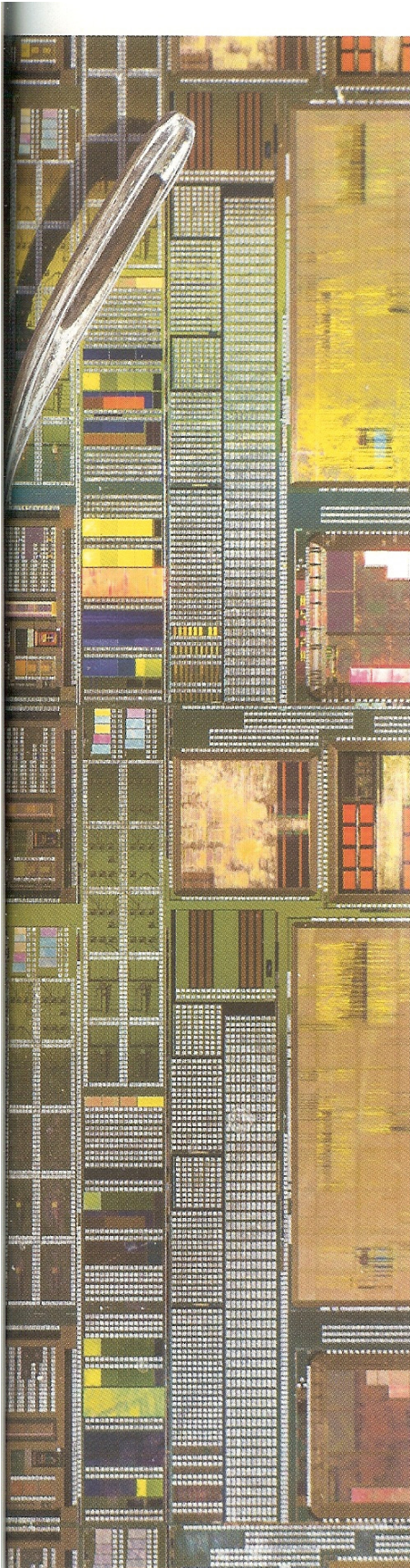
הנבואה שהתגשמה: מחקר חדש מאשש ניבוי מחקרי מלפני שבע שנים על התנהגות מורכבת הרבה יותר מהצפוי של רכיבים אלקטרוניים ממוזערים / אמיר רוזנבליט

עם המשך המזעור של מעגלים אלקטרוניים, כשהרכיבים הסטנדרטיים הנמצאים בשימוש במעגלים כאלה נעשים קטנים יותר ויותר, החשיבות של תופעות קוואנטיות – שברך כלל רלוונטיות לאלמנטים זעירים כגון אטומים ומולקולות, הולכת וגוברת. הרכיב הפשוט ביותר במעגל כזה הוא "צוואר בקבוק קוואנטי", גשר קטן ברוחב של כמה עשרות או מאות ננומטרים, המחבר בין שני אזורים רחבים יותר. תנועת האלקטרונים בין שני צדי צוואר הבקבוק נשלטת באמצעות מתח הפועל על שער (Gate) החוסם את מעבר האלקטרונים. בדומה למשפך, ככל שהפתח רחב יותר חוצים את המחסום יותר אלקטרונים, כלומר מוליכות ההתקן גדלה. כיוון שרוחב הפתח נשלט על ידי מתח השער, צוואר הבקבוק הקוואנטי משמש כמתג אלקטרוני זעיר, והוא הרכיב היסודי במעגלים אלקטרוניים ממוזערים, המשמשים כיום בעיקר למחקר מתקדם בתחום הננו־אלקטרוניקה (כיוון שמעגלים אלה פעילים בעיקר בטמפרטורות נמוכות הקרובות לאפס המוחלט, השימוש התעשייתי בהם עדיין מוגבל).

צוואר בקבוק של אלקטרונים

במאמר שפורסם בכתב העת *Nature* לפני כשבע שנים, ניבאו פרופ' יגאל מאיר מהמחלקה לפיזיקה באוניברסיטת בן-גוריון, עם הבתר דוקטורנט שלו תומס רייץ, כי להתקנים אלה, הפשוטים

כביכול, התנהגות מורכבת הרבה יותר מהצפוי. בניגוד לרעה המקובלת, שלפיה האלקטרונים זורמים כגלים דרך הפתח הצר (כנוזל הזורם דרך פי הבקבוק), הם ניבאו שאלקטרון בודד יילכד בהתקן ויגרום להקטנת ההולכה החשמלית דרך ההתקן. הדבר דומה לכך שאחד הגרגירים בשעון חול יחליט להיתקע בדיוק בפתח הצר ולחסום חלקית את תנועתם של שאר הגרגירים. במקרה של צוואר הבקבוק הדבר נובע מהתכונות הקוואנטיות של המערכת. תוצאה זו הסבירה את אחת החידות הגדולות בננו־אלקטרוניקה – מדוע המוליכות של צווארי בקבוק קוואנטיים נמוכה מהמצופה, חידה שעמדה לא פתורה כ־20 שנה, מאז התגלתה התופעה לראשונה בשנות ה־80 המאוחרות. למרות העדויות העקיפות להתמקמותו של אלקטרון בודד בצוואר הבקבוק, לא נמצאה לכך עד השנה עדות ישירה. כעת, שבע שנים אחרי התחזית המקורית, אושר הניבוי באופן ניסיוני במאמר שהתפרסם בכתב העת *Nature* בספטמבר האחרון, בעקבות שיתוף פעולה בין הקבוצה התיאורטית של פרופ' מאיר והקבוצה הניסויית של פרופ' ואן דר ואל (Van der Wal) מאוניברסיטת כרונינגן. יתר על כן, מאיר ותלמידו רועי לוי הראו באופן תיאורטי שככל שצוואר הבקבוק הקוואנטי ארוך יותר, כך יגדל מספר האלקטרונים שיילכדו בהתקן, תחזית שאושרה על ידי הקבוצה הניסויית. כאמור, אלקטרונים



➤
עם המשך המזעור של מעגלים
אלקטרוניים החשיבות של תופעות
קוואנטיות הולכת וגוברת
צילום: Shutterstock

**בניגוד לדעה המקובלת,
שלביה האלקטרוניים
זורמים כגלים דרך הפתח
הצר, ניבאו החוקרים
שאלקטרון אחד יילכד
בהתקן ויגרום להקטנת
ההולכה החשמלית דרך
ההתקן. הדבר דומה לכך
שאחד הגרגירים בשעון חול
ייתקע בפתח הצר ויחסום
חלקית את תנועתם של
שאר הגרגירים**

ממוקמים אלה יקטינו באופן משמעותי את
מוליכות ההתקן, שעד עתה נחשב מוליך
אידיאלי.

העבודה התיאורטית בקבוצתו של פרופ'
מאיר מספקת לחוקרים בתחום כלים
להבין את התופעה ולהתמודד עמה. מעבר
להשפעה החשובה של הגילוי על העתיד
של הננו-אלקטרוניקה, ואולי אף על מחשוב
קוואנטי, תוצאת המחקר מוכיחה כי התקן
פשוט כזה עשוי לשמש כלי חדש לחקר
תופעות קוואנטיות מורכבות במערכות רב
אלקטרוניות, ידע שישמש בסיס הן להמשך
המחקר והן ליישומים מעשיים.

אוניברסיטת
בן-גוריון בנגב

