

המקלע הקוונטי

מכונת ירייה של פוטונים שזורים
פותחה במעבדתו של פרופ' דוד גרשוני
מהפקולטה לפיזיקה



תב העת היוקרתי Science מדווח על פריצת דרך בפיזיקה הקוונטית - התפתחות העשויה להשפיע באופן דרמטי על עתידם של התקשורת, ההצפנה והמחשוב הקוונטיים. תמציתה של פריצת הדרך היא הדגמה ניסויית ראשונה של "מכונת ירייה" המסוגלת לייצר אשכולות של חלקיקי אור (פוטונים) השזורים הדדית ביניהם. שזירה היא תופעה שבה נוצרים זוגות של פוטונים תאומים המקיימים ביניהם קשר ייחודי שאינו מתקיים במכניקה הקלאסית אלא רק בפיזיקה הקוונטית.

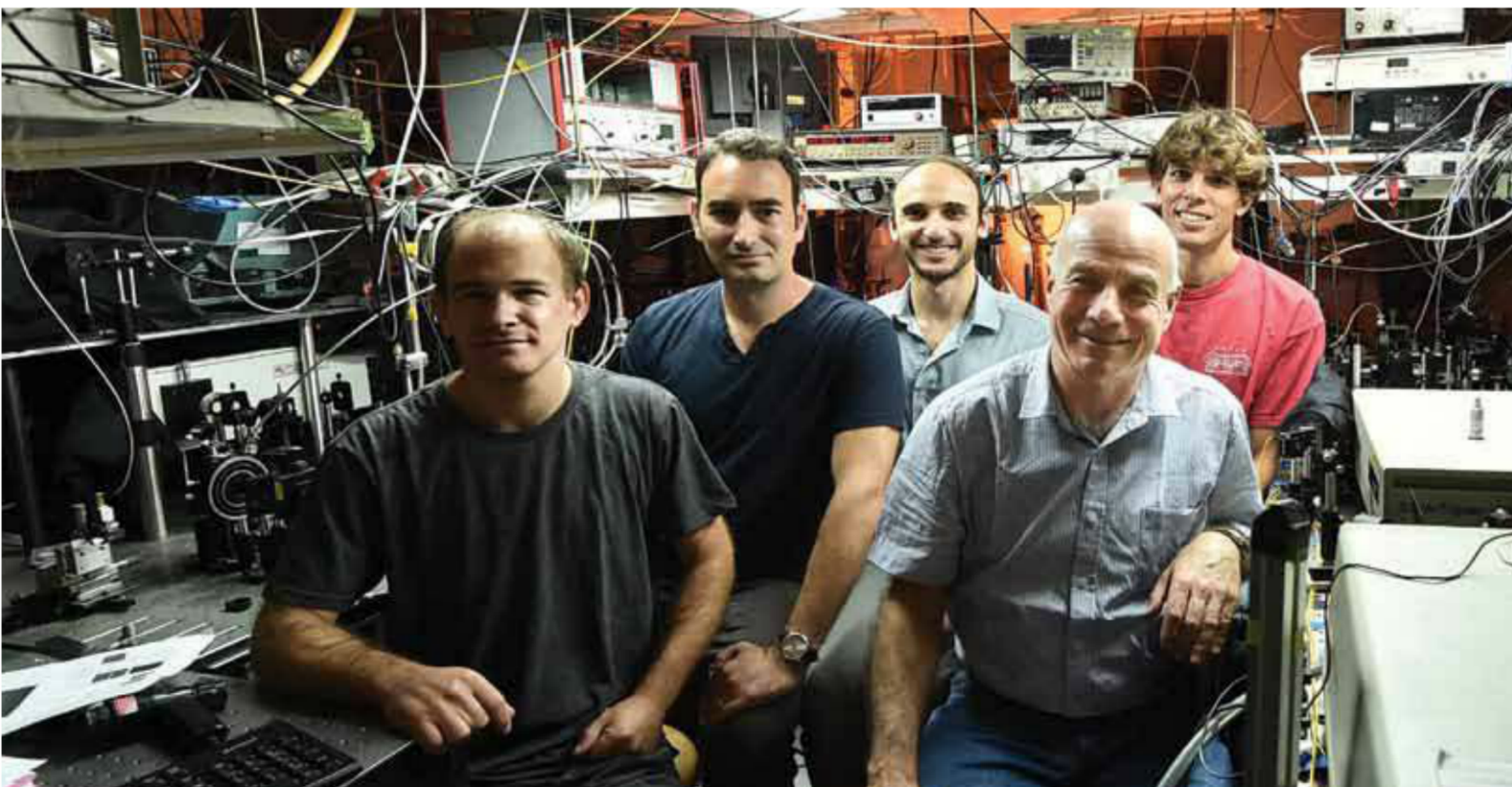
ההתקן שנמצא בליבת הניסוי נקרא "נקודה קוונטית". זהו גוש זעיר, בעל ממדים של כמה עשרות ננומטרים, העשוי מחומר מוליך למחצה המשובץ בתוך מוליך למחצה מסוג אחר. באמצעות עירור הנקודה באמצעים אופטיים או חשמליים אפשר לגרום לה לפלוט בזמנים מוגדרים פוטונים בודדים בעלי אנרגיה, כיוון וקוטב מבוקשים. כאמור, קבוצת המחקר של פרופ' גרשוני הצליחה כעת להפוך נקודה כזאת למעין מכונת ירייה המייצרת בקצב גבוה שרשראות של פוטונים שזורים.

עבודה חלוצית זאת היא אבן דרך נוספת בשרשרת ההצלחות של קבוצת המחקר של פרופ' גרשוני, העוסקת במחקר באופטיקה קוונטית המבוססת על מבנים ננומטריים ממולכים למחצה. בשנת 1998 הצליחה הקבוצה להדגים לראשונה כיצד נקודות קוונטיות מהוות מקור של פוטונים בודדים על פי דרישה - כלומר פוטונים המאופיינים בתכונות הרצויות ונוצרים במקום ובזמן הנקבעים על ידי מפעילי ההתקן. בשנת 2006 הצליחה הקבוצה להדגים לראשונה כיצד יכולות נקודות אלה לשמש בסיס להתקן שיאפשר פליטת זוגות של פוטונים שזורים לפי דרישה. להישגים אלה נוסף כעת הדיווח על הדגמה של התקן הפועל כמכונת ירייה ומסוגל לייצר אשכולות של פוטונים שזורים על פי דרישה.

שגר אותי, סקוטי

תופעת השזירות הקוונטית משחקת תפקיד מרכזי בפרוטוקולים המעבדים אינפורמציה קוונטית. דוגמה בולטת היא הטלפורטציה הקוונטית, שבה משתמשים בחלקיקים שזורים על מנת להעתיק את מצבו המדויק של חלקיק למיקום מרוחק באופן מיידי. אחד מחלוציה החשובים של הטלפורטציה הקוונטית היה פרופ' מחקר אשר פרס ז"ל, מויתיקי הפקולטה לפיזיקה בטכניון ותלמידו של פרופ' מחקר נתן רוזן ז"ל.

חשוב להבהיר כי בתהליך הטלפורטציה החלקיק אינו נע מנקודת המוצא לנקודת היעד. כדי להמחיש את הרעיון אפשר לחשוב על ההבדל בין שליחת מכתב במעטפה מבוילת, שמועברת פיזית אל הנמען באמצעות שירותי



מימין לשמאל: פרופ' משנה נתנאל לינדנר, פרופ' דוד גרשוני, ירוסלב דון, דן קוגן, עידו שוורץ

הדואר, לבין שליחת המכתב בפקס. במקרה השני מתורגם הדף הכתוב למידע דיגיטלי, והמידע בלבד נשלח אל הנמען ושם הוא מודפס בחזרה לצורתו המקורית - ללא העברה של הנייר המודפס המקורי ממקום למקום. דוגמה אחרת, מהעולם הבדיוני, לקוחה מסדרת הטלוויזיה "מסע בין כוכבים", שם שוגרו אנשים ממקום למקום בכל פעם שניתנה ההנחיה "שגר אותי, סקוטי" (Beam me up, Scotty).

ממדע בסיסי ליישום הנדסי

קבוצת המחקר של פרופ' גרשוני מציגה כעת פתרון לאתגר זה: מכונת הירייה הראשונה הפולטת פוטונים שזורים רבים על פי דרישה.

"כפיזיקאי אני עוסק במדע בסיסי - בניסיון להבין את חוקי היסוד של הטבע על סמך תאוריה, תצפיות וניסויים," אומר פרופ' גרשוני. "תאוריה פיזיקלית מוצלחת מאפשרת לנו להסביר את התצפיות שלנו וגם לנבא היטב תהליכים בטבע ובמעבדה. לעתים המחקר המדעי מוביל ליישומים מועילים, ולעתים לא. למקרה הנוכחי יש בהחלט יישומים פוטנציאליים חשובים בתחומי המחשוב הקוונטי והתקשורת הקוונטית. אני מאמין שהתגלית שלנו תקדם את התחום של עיבוד מידע קוונטי, ושבעתיד הלא רחוק נוכל לראות יישומים אמיתיים של טכנולוגיות קוונטיות בשימוש נרחב."

פרופ' גרשוני, יליד 1953, רכש את השכלתו האקדמית בטכניון. בתום הדוקטורט ב-1986 יצא לפוסט-דוקטורט במעבדות קל בניו ג'רזי, ולאחר כשנה התקבל שם כחבר סגל ועסק במחקר ובפיתוח. ב-1991 חזר לטכניון, הפעם כחבר סגל אקדמי בפקולטה לפיזיקה. הוא עמית של העמותה האמריקאית בפיזיקה, כיהן כעשר שנים כראש המכון למצב מוצק בטכניון וקיבל את פרס הנרי טאוב מהטכניון פעמיים - ב-2004 ושוב ב-2010. ב-2012 זכה בפרס לפיתוח התקנים קוונטיים וב-2014 בפרס לנדאו מטעם מפעל הפיס. קבוצת המחקר הניסויי של פרופ' גרשוני משתפת פעולה עם התיאורטיקנים פרופ' יוסי אברון ופרופ' משנה נתנאל לינדנר, והיא אחת הקבוצות המובילות בתחום.

פריצת הדרך הנוכחית היא מימוש של מאמר תאורטי משנת 2009, פרי עטם של פרופ' משנה לינדנר ופרופ' טרי רודולף מאימפריאל קולג' בלונדון. ההישג הנוכחי הוא בעיקר פרי עבודתם של הדוקטורנטים עידו שוורץ ודן קוגן מקבוצתו של פרופ' גרשוני. עובדה פיקנטית מעניינת בהקשר זה היא שפרופ' רודולף הוא נכדו של ארוון שרדינגר, מייסדה של תורת הקוונטים.