

הולוגרמות

## שקט מצלמים! (בתלת ממד)

אור (קרן המוחזרת מן העצם המצולם וקרן ייחוס) המתאבכות זו עם זו ליצירת תבנית אחת. תבנית ההתאבכות משמרת לא רק את עוצמת האור (כמו בצילום רגיל) אלא גם את המופע (פאזה) שלו המאפשר לרשום על סרט הצילום גם את המרחק מן המצלמה של כל נקודה על העצם. הטכניקה הנפוצה ביותר ליצירת הולוגרמות היא הולוגרמת פרנל: כל נקודה על העצם הופכת למערכת של טבעות בעלות מרכז משותף (תבנית פרנל) וצפיפות הטבעות מייצגת את מרחק הנקודה מסרט הצילום. בשיטה המקובלת לצילום הולוגרפי חייבים להשתמש בקרני לייזר. ייחודו של הלייזר בכך שהוא קוהרנטי, כלומר בעל אורך גל ומופע יחידים וידועים מראש. בצילום הולוגרפי מתאבכות אפוא זו עם זו שתי קרניים: קרן הייחוס שמגיעה היישר ממכשיר הלייזר אל סרט הצילום וקרן האובייקט שיוצאת ממכשיר הלייזר ומוחזרת מן העצם המצולם.

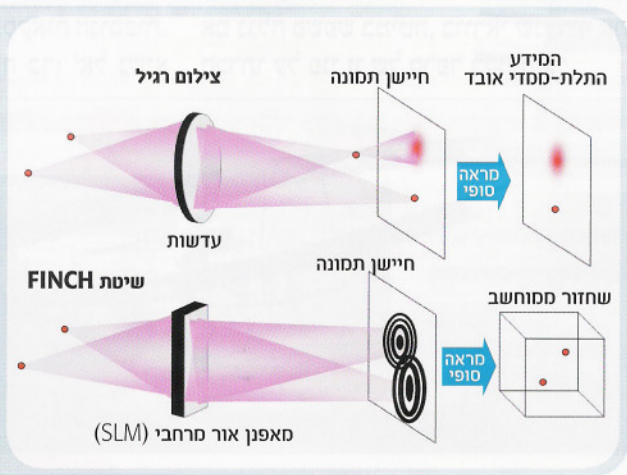
פרופסור יוסי רוזן מן המחלקה להנדסת חשמל ומחשבים באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, יחד עם פרופסור גארי ברוקר מן המרכז למיקרוסקופיה באוניברסיטת ג'ונס הופקינס במרילנד שבארה"ב, גילו דרך לצלם הולוגרמות באור לבן תוך שימוש במערכת פשוטה ומהירה במיוחד. אור "לבן" אינו אור קוהרנטי, כלומר הוא מכיל טווח רחב של אורכי גל בעלי מופעים שונים. כדי להתגבר על בעיה זו, השתמשו רוזן וברוקר במכשיר הקרוי מאפנן אור מרחבי (Spatial Light Modulator), המשנה את הצורה המרחבית של חזית הגל. רוזן וברוקר הציגו על ה-SLM שני סריגי עקיפה שונים ודרכם העבירו את אלומת האור, המסוגלת

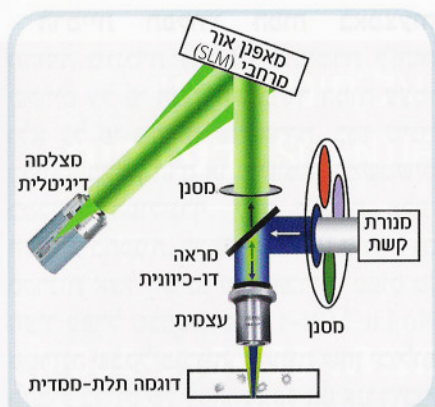
חוקרים באוניברסיטת בן-גוריון בנגב ובאוניברסיטת ג'ונס הופקינס בארה"ב פיתחו שיטה המאפשרת צילום הולוגרמות באור רגיל או במיקרוסקופ פלוארוסצנטי **מאת יעל בלבן**

הולוגרמות - צילום תלת-ממדי - היו מאז ומעולם נושא חביב על כותבי מדע בדיוני. ספרי המד"ב מלאים דמויות תלת-ממדיות נעות ומדברות הנראות ממש כבני אדם אמיתיים. אבל לצילום ההולוגרפי, בעיקר בתחום המיקרוסקופיה, יש גם תפקיד חשוב במחקר המדעי, שכן לעתים קרובות זקוקים החוקרים למידע מדויק על אודות המבנה המרחבי של תאים ואורגניזמים. בני אדם רואים ראייה תלת-ממדית בזכות העובדה שיש להם שתי עיניים, המצויות במרחק כלשהו זו מזו. המוח מקבל בו-זמנית שתי תמונות הנבדלות מעט זו מזו ומעבד אותן לתמונה תלת-ממדית אחת. בצילום הולוגרפי נרשמת התמונה התלת ממדית על ידי שימוש בשתי קרני

צילום הולוגרפי באור לבן  
בשיטת FINCH:

בצילום רגיל (למעלה) נקודה שמרחקה מן העדשה אינו שווה למרחק הדימות של העדשה תופיע מטושטשת. המידע התלת-ממדי אינו נשמר. בטכנולוגיית FINCH (למטה) נקודה רחוקה יותר תיצור מעגלי פרנל צפופים יותר, ולהפך. המידע התלת-ממדי נשמר.





**FINCScope: צילום הולוגרפי מיקרוסקופי**  
 אור (כחול) שמקורו במנורת קשת מוחזר מן האובייקט (ירוק) דרך העצמית אל מאפנן אור מרחבי (SLM) ומסנו למצלמה דיגיטלית.

(Holography) יש כמה יתרונות: אפשר לצלם הולוגרמות באור טבעי, כולל באור השמש או באור של מנורות תרמיות ("מנורות קשת") נפוצות; השיטה משתמשת במערכת אופטית אחת, פשוטה באופן יחסי, דבר שעושה אותה לעמידה מאוד לרעידות ולעיוותים (בניגוד למערכות אחרות); המערכת עשויה להיות קטנה יחסית כך שאפשר לשאתה מחוץ לבית; והצילום מהיר מאוד - מה שעשוי לאפשר בעתיד הקרוב לצלם גם סרטים הולוגרפיים.

יתרון חשוב אחר הוא האפשרות לצלם הולוגרמות דרך מיקרוסקופ פלאורוסצנטי. קרינה פלאורוסצנטית היא אור לא קוהרנטי ולכן עד כה לא היה אפשר להשתמש בה לצילום הולוגרמות. בעזרת ה-FINCScope של רוזן וברוקר אפשר ליצור הדמיה תלת-ממדית וצבעונית של תאים וחידקים תוך שילוב של שיטת FINCH ומיקרוסקופ פלאורוסצנטי [ראו איור משמאל].

שיטת FINCH מצויה כרגע בשלבי פיתוח: אב-טיפוס ראשון כבר פועל והחוקרים מקווים להעמיד בקרוב את השיטה לרשות מדענים בתחומים השונים של מדעי הטבע - ובעתיד, אולי גם לרשות חובבי הגאדג'טים והמדע הבדיוני.

עתה להתאכך עם עצמה. כשמאירים את נושא הצילום באור לבן, מחזירה כל נקודה על פניו חזית גל מסוימת אחת, כלומר האור מנקודה אחת קוהרנטי לעצמו. כשמעבירים את האור המוחזר דרך SLM הוא מתפצל דרך שני סריגי העקיפה השונים לשתי חזיתות-גל קוהרנטיות זו לזו, כיוון שהן יוצאות מאותה נקודה. לכן, שתי החזיתות יכולות להתאכך זו עם זו וליצור תבנית פרנל (ראו איור בעמוד הקודם). המצלמה אוספת ומחברת את תבניות ההתאככות מכל הנקודות המרכיבות את העצם ויוצרת, בעזרת עיבוד מחשב, את ההולוגרמה.

הצורך במחשב נובע מכך שההולוגרמה המתקבלת היא on-axis ("על ציר אחד"): כיוון שהאור מוחזר מנקודה אחת אין זווית בין שתי הקרניים כמו בשיטות off-axis (שבה יש זווית בין האור המוחזר וקרן הייחוס). הולוגרמות on-axis יוצרות בעיה של "דמות תאומה" - כפילות שיש לבטלה. דבר זה נעשה על ידי שימוש בשלושה זוגות של סריגים (למעשה, שלושה צירופים שונים של שני סריגים כל פעם) ועיבוד ממוחשב.

לשיטה המוצעת, שניתן לה השם FINCH (Fresnel INcoherent Correlation