

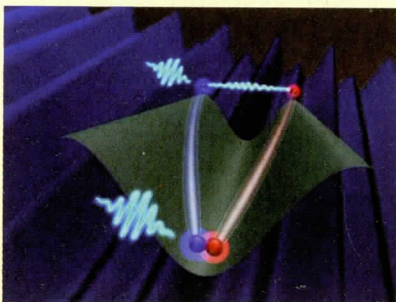
חוקרים גרמנים ואמריקנים הצליחו למדוד פזה גיאומטרית במוצקים. פזה זו התגלתה לפני כ-25 שנים על ידי פרופ' יהושע זק מהטכניון ונקראת על שמו - "Zak Phase"

לכן זיהוי התכונות הטופולוגיות של פס האנרגיה חיוני להבנת תכונותיה הפיזיקליות.

לדברי החוקר עמנואל בלוך, סכמת-מדידה חדשה זו היא בבחינת גישה חדשה ללמידה של מבנים טופולוגיים במוצקים, והיא עשויה להוביל לגילוי של פאזות טופולוגיות בחומר קוואנטי שיש לו תכונות ייחודיות העשויות להיות שימושיות ביישומים פרקטיים.

"שמחתי לשמוע שיותר מחצי תריסר חוקרים בארה"ב וגרמניה שיתפו פעולה והצליחו למדוד את הפזה שניבאתי", אומר פרופסור זק. "חשוב מאוד לתיאורטיקאי אשר ניבא תופעה, שהתיאוריה שלו נמדדת בניסוי. והמדידה הזו הפכה את התיאוריה שלי למעשה".

בפתוח הפזה השתמש פרופ' זק בתגלית נוספת שלו משנת 1967 - הצגת (kq-representation). זוהי תגלית יסודית במכניקה קוונטית הנקראת אף היא על שמו - "התמרת זק" (Zak Transform) והיא משמשת כיום בעיבוד אותות. עשרות אלפי מהנדסים משתמשים בה בעבודתם.



התמונה מתארת חלקיק שנע לאורך פס האנרגיה. צבע כחול-ואדום מסמנים חלקיקים עם ספין למעלה וספין למטה. בזמן הניסוי החלקיקים נעים מהמרכז לקצוות של פס האנרגיה ורוכשים את הפזה הגיאומטרית של זק. דוברות הטכניון

פרופסור עמנואל בלוך (אוניברסיטת לודוויג-מקסימיליאנו במינכן ומכון מקס פלאנק, גארינג) בשיתוף הדוק עם פיזיקאים תיאורטיים מאוניברסיטת הארוורד, בקבוצה של פרופ' יבגני דמלר, הצליחו למדוד פזה טופולוגית במערכת חד ממדית במצב מעין-מוצק (סריג אופטי). זוהי הפזה הקרויה Zak-phase על שמו של פרופסור יהושע זק מהפקולטה לפיזיקה בטכניון.

לשני אובייקטים יש מבנה טופולוגי שונה אם אין דרך רציפה להפוך אחד מהם לשני בלי לחתוך אותו או לנקב בו חורים, לדוגמה, כוס תה עם חור אחד בידידת שקולה מבחינה טופולוגית לכעך, אך כעך וכדורגל אינם זהים. יתר על כן, אפשר לאפיין את המבנים הטופולוגיים השונים על פי מבנים גיאומטריים הקשורים בצורת האובייקט.

אולם מה הקשר בין פאזות גיאומטריות אלה לתכונות החומר בפועל? "בחומר, האטומים מסודרים באופן היוצר מבנה מחזורי, שבו האלקטרונים מושפעים מהכוחות החשמלים של היונים. כתוצאה מכך, האלקטרונים 'נעים' בתוך החומר בפסי אנרגיה (energy bands), המגלמים את תפקיד האובייקטים בדוגמאות שהצגנו ורוכשים פזה גיאומטרית", מסביר מרקוס אטאלה, דוקטורנט בכיר בניסוי בקבוצה של פרופ' עמנואל בלוך.

בשנת 1989 זיהה פרופסור זק את הפאזות הגיאומטריות ב-band theory של מוצקים חד ממדיים. כשחלקיק נע 'לאט' לאורך פס האנרגיה ומשלים לולאה שלמה, הוא "רוכש" את הפזה הגיאומטרית המשפיעה משמעותית על תכונות החומר שיכולות להיקבע על ידי "הגיאומטריה הקוואנטית" של הגביש.

חוקרים גרמנים ואמריקנים הצליחו למדוד את פזת זק, שהתגלתה לפני 25 שנים על ידי פרופסור יהושע זק מהטכניון. כך מגלים מאמרים בכתבי העת היוקרתיים "נייצר פיזיקס" (Nature Physics) ו"סיינס" (Science).

בשנת 1989 פירסם פרופסור זק מאמר בכתב העת המדעי "פיזיקל רווי לטרס" (Physical Review Letters) ובו התאים פזה גיאומטרית למוצקים. בחומר המוצק יש פסי אנרגיה והאלקטרונים עבהם מקבלים תאוצה כאשר מופעל עליהם שדה חשמלי. בתנועתם הם רוכשים פזה גיאומטרית (למשל, הזזת של חבל הנדנדה עם האנך, היא הפזה של הנדנדה). את הפאזה הזו שמקבלים האלקטרונים גילה פרופסור זק.

פאזות גיאומטריות מתרחשות במקומות שונים בטבע. אחת הדוגמאות הפשוטות היא המטוטלת של פוקו: מטוטלת גבוהה שיכולה להתנדנד בכל מישור אנכי. בגלל סיבובו של כדור הארץ, המישור שבו היא מתנדנדת מסתובב באופן יחסי לכדור הארץ. מדי יום משתנה מישור הסיבוב בזווית 'גיאומטרית' קטנה, הקשורה למבנה הכדורי של הארץ. באופטיקה גילה לראשונה ב-1956 פזה גיאומטרית המדען ההודי הידוע פנצ'רטנס Pancharatnam. במכניקה קוואנטית קיימת תופעה דומה אשר התגלתה ב-1984 על ידי הפיזיקאי הבריטי סר מייקל ברי, שזיהה פזה גיאומטרית, וזו מכונה כיום "פזת ברי". פזות קוואנטום-מכניות כאלה עשויות להשפיע משמעותית על תכונות החומר ולגרום למגוון תופעות. דוגמאות לכך הן הקיטוב הדיאלקטרי ואפקט הול הקוואנטי (המשמש כיום להגדרת תקן של התנגדות).

עתה, לראשונה, מדענים בקבוצה של