

סיפורו של הספין

פרופ' רון נעמן, המחלקה לפיזיקה כימית, מכון ויצמן למדע

ב-1922. בניסוי זה הם הפעילו שדה מגנטי לא אחיד על אלומה של אטומי כסף וגילו שהאלומה מתפצלת. הם הניחו שהפיצול נובע מהמומנט המגנטי של האלקטרון הלא מזווג בכסף, מומנט מגנטי שנובע מהתנועה המעגלית סביב הגרעין. בניגוד למה שנאמר לעתים קרובות, לא הוכיח ניסוי שטרן-גרלך את קיום הספין, ולמעשה, בזמנו חיזק את התאוריה של בוהר שבה לא נכלל הספין.

הספין הופיע ברצינות במכניקת הקוונטים בעקבות עבודתו של זמרפלד על ספקטרוסקופיה ברזולוציה גבוהה של אטום המימן. הוא גילה קווים שלא היה להם הסבר לפי המודל של בוהר. הוא פנה לפרופסור הרנפסט (Paul Ehrenfest) מאוניברסיטת לידן וביקש את עזרתו. פרופסור הרנפסט שלח שני סטודנטים שלו, הולנברג וגודסמיט¹, להיפגש עם זמרפלד, וכתוצאה מכך הם בנו מודל שהכיל מרכיב נוסף של תנע זוויתי שלו הם קראו ספין. הם כתבו מאמר והביאו אותו להרנפסט. למחרת הם הגיעו אליו ואמרו לו בדחילו ורחימו שאולי הם טעו. הרנפסט אמר שכבר מאוחר מדי כיוון שהוא שלח את המאמר לפרסום, אבל "אין להם

לדעת רבים, מכניקת הקוונטים החלה למעשה עם פרסומו של נילס בוהר על המודל למבנה האטום. בוהר פרסם זאת עם סיום עבודת הדוקטורט שלו ב-1913. כוחו של המודל היה ביכולתו לנבא את ספקטרום הבליעה והפליטה של אטום המימן. המודל הניח שאלקטרון מסתובב סביב הגרעין במסלולים בדידים, כך שכל מסלול מתאר מצב של המערכת. המעבר בין המצבים דורש בליעת אנרגיה מוגדרת או שחרורה, במקרה שהמערכת עוברת ממצב עם מסלול בעל רדיוס גדול למצב עם רדיוס קטן יותר. בנוסף לתיאור המצבים איפשר המודל גם לחשב את האנרגיה שאמורה להיבלע או להיפלט כתוצאה מהמעבר ביניהם. כאשר בוהר ניסה להסביר את אטום ההליום הוא נתקל בקושי כיוון שהיה צריך להניח ששני אלקטרונים נמצאים באותו מסלול. הנחה זו סותרת את הפיזיקה הקלאסית שלפיה שני אלקטרונים כאלו ידחו זה את זה, והמערכת לא תהיה יציבה. מודל בוהר גם ניבא שלכל אלקטרון שמסתובב סביב הגרעין יש תנע זוויתי הנובע מהתנועה במסלול.

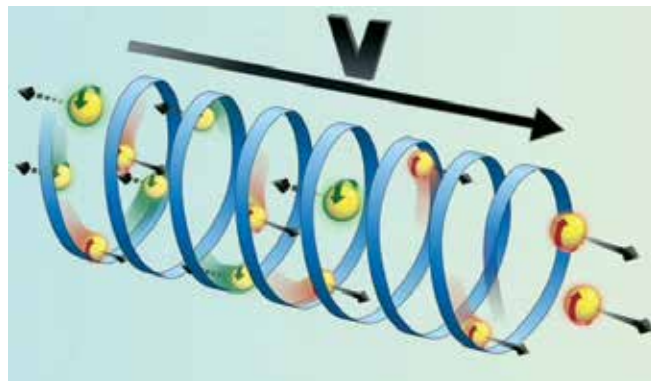
חיזוק למודל של בוהר ניתן לכאורה בניסוי של שטרן וגרלך

¹ George Uhlenbeck (December 6, 1900 - October 31, 1988) and Samuel Goudsmit (July 11, 1902 - December 4, 1978)

החומרים ואת הקשרים הכימיים ללא מושג הספין. מדהים שלקח לקהילה המדעית כ-15 שנה לגלות תכונה זאת. מעניין גם לראות שהתכונה התגלתה על ידי שני דוקטורנטים צעירים, ושגילוייה לא התקבל בתשואות. בנוסף לכך יש לציין שמעולם לא ניתן פרס נובל על גילוי הספין.

לקריאה נוספת:

רון נעמן, [איך מכניקת הקוונטים יכולה להשפיע על ניקיון הקרקע?](#)



HAVING had the opportunity of reading this interesting letter by Mr. Goudsmit and Mr. Uhlenbeck, I am glad to add a few words which may be regarded as an addition to my article on atomic theory and mechanics, which was published as a supplement to NATURE of December 5, 1925. As stated there, the attempts which have been made to account for the properties of the elements by applying the quantum theory to the nuclear atom have met with serious difficulties in the finer structure of spectra and the related problems. In my article expression was given to the view that these difficulties were inherently connected with the limited possibility of representing the stationary states of the atom by a mechanical model. The situation seems, however, to be somewhat altered by the introduction of the hypothesis of the spinning electron which, in spite of the incompleteness of the conclusions that can be derived from models, promises to be a very welcome supplement to our ideas of atomic structure. In fact, as Mr. Goudsmit and Mr. Uhlenbeck have described in their letter, this hypothesis throws new light on many of the difficulties which have puzzled the workers in this field during the last few years. Indeed, it opens up a very hopeful prospect of our being able to account more extensively for the properties of elements by means of mechanical models, at least in the qualitative way characteristic of applications of the correspondence principle. This possibility must be the more welcomed at the present time, when the prospect is held out of a quantitative treatment of atomic problems by the new quantum mechanics initiated by the work of Heisenberg, which aims at a precise formulation of the correspondence between classical mechanics and the quantum theory.

N. BOHR.

Copenhagen, January 1926.

מה לדאוג כיוון שאין להם עדיין מעמד מדעי ולכן מעמדם לא יפגע...". המאמר שנשלח לא עורר תגובות משמעותיות. באותו זמן נחגג יום הולדתו של פרופסור לורנץ, גם הוא מליידן. וכמו שהיה נהוג אז נערך כנס פרטי שאליו הוזמנו גדולי הפיזיקאים - בוהר, אינשטיין, פאולי ועוד. הרנפסט הציע לשני תלמידיו לנסוע לביתו של לורנץ ולהציג שם את עבודתם. הם עשו זאת וקיבלו תגובות נוגדות. בעוד שבוהר אהב את הרעיון, טען פאולי שהוא לא נכון. בשנת 1926 הם פרסמו מאמר בכתב העת, NATURE, ובוהר כתב תגובה מחמיאה מאוד (ראו תמונה מצורפת) שבה הוא מציין שהספין יכול לפתור את הבעיות במודל שלו. אבל כאמור, הרעיון עדיין לא התקבל בקהילה המדעית. השינוי חל כאשר דירק Paul Adrien Maurice Dirac (8 August 1902 - 20 October 1984) ניסה לקשר בין משוואת שרדינגר ובין תורת היחסות. הוא גילה שחסר לו משתנה נוסף שיגדיר את האנרגיה של האלקטרונים וסיפר זאת לפאולי. פאולי אמר לו שיתכן וזה הספין. כך קרה שב-1928 נכנס הספין כחלק אינטגרלי לתורת הקוונטים. בדיעבד מסתבר ששטרן וגרלך מדדו בניסוי שערכו את המומנט המגנטי של הספין ושלאלקטרון במצב S אין תנע סיבובי בגלל תנועה סיבובית הגרעין.

הספין הוא שמאפשר לשני אלקטרונים להיות באותו מצב, כיוון שהוא הגורם לקורלציה ביניהם. בתמונה פשוטה וקלסית אפשר לראות זאת כאילו האלקטרונים זזים כך שכל הזמן הם משני צדי הגרעין, ולכן אין דחייה חזקה ביניהם. היום ברור שאי אפשר להבין את תכונות

תגובתו של נילס בוהר להצעתם של הולנברג וגודסמיט, כפי שהופיעה במאמר ב-NATURE בשנת 1926