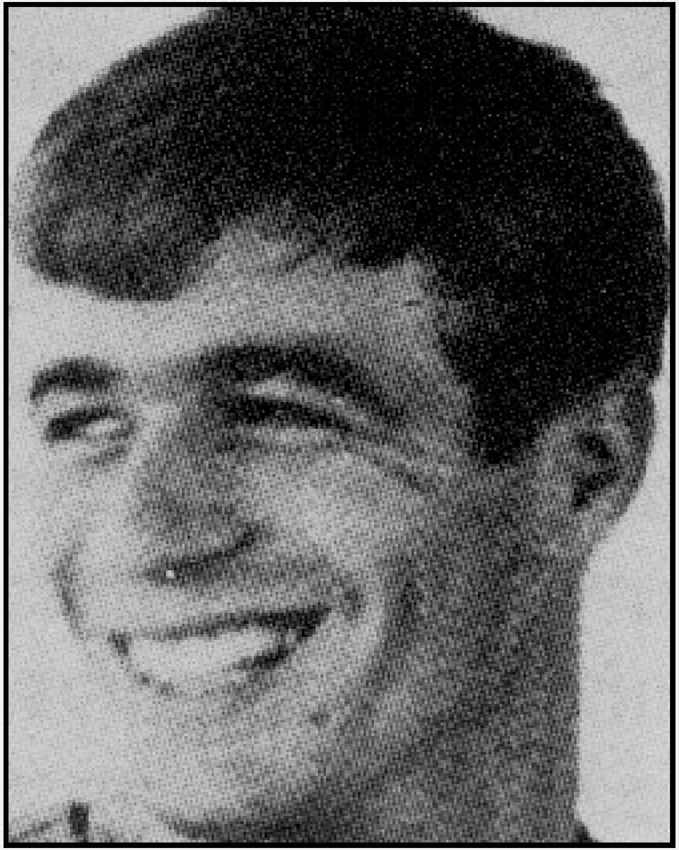
לזכרו של קין גדעון ז"ל



קין גדעון

ז"ל

קין גדעון (גידי) בן אלישבע ודענן. נולד ביום י"ב בתמוז תש"ד (3.7.1944) ברמות השבים.
למד בבית הספר היסודי בכפר מל"ל והמשיך לימודיו התיכוניים בבית הספר התיכון כצנלסון בכפר־סבא.
בעל תואר בוגר ומוסמך בפיסיקה ובמתימטיקה מטעם האוניברסיטה העברית, ירושלים.
נפל בקרב ברמת הגולן ביום י"ט בתשרי תשל"ד (15.10.1973).

מערכות אלקטרונים חד־מימדיות וקואזי־חד־מימדיות

הקדמה מתוך עבודת גמר לשם קבלת תואר מוסמך (M.Sc.) בפיסיקה עיונית מטעם האוניברסיטה העברית, ירושלים, תשרי תשל"א (אוקטובר 1970). בהדרכת פרופ' חנוך גוטפרוינד.
העבודה במקור מכילה שלושה פרקים: פרק 1 – מודלים חד־מימדיים; פרק 2 – גז אלקטרונים לא־איזוטרופי; פרק 3 – גביש קואזי־ליניארי וכן סיכום, נספח, מקורות, גראפים.

מעבודתו של קין גרסון ז"ל

הקדמה

העניין במודלים חד־מימדיים נובע מכמה סיבות. ראשית, מערכת חד־מימדית היא פשוטה יותר ממערכת תלת־מימדית, ובהרבה מקרים קיימים למודלים חד־מימדיים פתרונות מדויקים. מודלים כאלה יכולים לשמש לבדיקת מהימנות של קרובים, או להדגמה איכותית של תופעות פיסיקליות ידועות במערכות ממשיות. למשל המודל של Tomonaga[1] עבור פרמיונים במימד אחד עם אינטראקציה ארוכת טווח, מדגים את הקיום של אופני תנודה קולקטיביים הדומים לפלסמונים הידועים במערכות ממשיות. דוגמא אחרת היא החשוב של Frölich[2] עבור אלקטרונים ופונונים במימד אחד, המדגים את הופעת הפער בערור האלקטרונים המאפיין את תופעת הסופרמוליכות. אולם יש להזהר כאשר מנסים, מתוצאות של חשובים במודלים חד־מימדיים, להסיק מסקנות למערכות תלת־מימדיות, כי הגבלת התנועה למימד אחד מהווה אילוץ דרסטי של המערכת הגורר, במקרים רבים, תוצאות שאינן נכונות בשלושה מימדים.

לאחרונה גבר העניין במערכות חד־מימדיות גם מסיבות פרקטיות, בעקבות מאמר של Little[3] הטוען שיתכן קיומו של על־מוליך אורגני בעל טמפרטורות מעבר גבוהה (מסדר גודל של טמפרטורות החדר ויותר) הבנוי משרשרת ליניארית של אטומים עליה מורכבות בסדר מסוים, יחידות צד (Side Bonds) בעלות מקדם קיטוב גבוה. בשרשראות כאלה אפשר לקבל אינטראקציית משיכה בין האלקטרונים, ומכאן לפי תיאורית B.C.S. אפשר, אולי, לקבל על־מוליך.

רעיון זה של Little זכה לתגובות שונות. נציין פה את תגובת Ferrell[4] שטען שבשרשראות חד־מימדיות לא יתכן סדר המאפיין את העל־מוליך, וזאת משום שבמערכת חד־מימדיות מתבדרות פלוקטואציות הפאזה של פרמטר הסדר. הטענה הזו קשורה לעובדה שאנרגית הפלאסמונים במערכת חד־מימדית שואפת לאפס עבור $q\to 0$. במערכות תלת־מימדיות אין הדבר כך, ואנרגית הפלאסמונים נשארת סופית גם כאשר $q\Rightarrow 0$.

ישנן מערכות פיסיקליות שבמובן מסוים אפשר ליצגן על־ידי מודלים חד־מימדיים, או קואזי־חד־מימדיים. לדוגמא נביא את השרשראות הליניאריות שקיימות בתרכובות אורגניות מסוימות, וכן את המבנה המרחבי של אטומי הונדיום בתוך גביש V_3Si. על דוגמאות אלה אורחיב את הדיבור להלן.

לגבי הדוגמא הראשונה: בשרשראות ליניאריות אלה אפשר להסתכל על חלק מהאלקטרונים הולנטיים של האטומים המרכיבים את השרשרת כאלקטרונים חופשיים, שתנועתם

אמבורדתו של קין גרשון ז"ל

מוגבלת לאורך ציר המערכת. את התנאים הפיסיקליים לכך שהתנועה תהיה, אמנם, לאורך ציר המערכת אציין בפרק 1.
לגבי מערכת אלקטרונים זו אפשר להפעיל מודלים חד-מימדיים שיתנו בהנחות מסוימות אינפורמציה על הגדלים האופייניים, והתכונות של המערכת.

בפרק הראשון של העבודה אביא שני מודלים כאלה הנבדלים זה מזה, במידה שאלקטרונים אלה נלקחים כחופשיים. במודל הראשון מניחים שהאלקטרונים חופשיים לגמרי, ואם נניח שהמטען החיובי "מרוח" במידה אחידה לאורך השרשרת, לפנינו גז אלקטרונים חד־מימדי עם אינטראקציה קולומבית. ממודל זה, בעזרת קרוב .R.P.A (ראה בהמשך) מקבלים אינפורמציה על הגדלים הבאים: צפיפות המצבים $n(E)$, הקבוע הדיאלקטרי, תדירות עירורי הצפיפות־הפלאסמונים ואינטראקציה אפקטיבית.

במודל השני מניחים שהאלקטרונים קשורים חזק ומצב האפס נלקח בקרוב הקשר החזק. גם כאן קיימת אינטראקציה קולומבית בין האלקטרונים, ובעזרת קרוב .R.P.A המופעל על מצב האפס מקבלים את הגדלים אותם קבלנו במודל הראשון. כמו כן נשווה בפרק הראשון בין שני המודלים, ונראה את השונה והמשותף בתוצאות שמקבלים מהם. בנוסף נראה שבשני מודלים אלה יורדת תדירות הפלאסמונים לאפס כאשר אורך הגל שואף לאינסוף.

את המודלים החד־מימדיים הבאנו כדי לנסות לתאר מערכות פיסיקליות בעלות אן־איזוטרופיות חזקה, וכדי שיהוו נקודת מוצא למודלים קואזי־חד־מימדיים. ברור שהן על־מוליך אורגני והן אטומי הונדיום בגביש V_3Si אינם מערכת חד־מימדית. כדי שעל־מוליך אורגני יהיה בעל גודל מקרוסקופי יש להניח שנצטרך לקחת לא שרשרת יחידה אלא אלומה של שרשראות אשר אותה נוכל לתאר במודל קואזי־חד־מימדי. בין השרשראות האלה יהיה צימוד מסוים אשר במודל החד־מימדי איננו נלקח בחשבון. נראה, במודלים שנביא, שצימוד כזה, ככל שיהיה חלש, גורר שינוי בתכונות המערכת. אחד השינויים החשובים הוא שאנרגית הפלאסמונים לא יורדת לאפס כאשר וקטור הגל שואף לאפס. עובדה זו יש לה כמובן משמעות לגבי הוויכוח על אפשרות קיומו או אי קיומו של על־מוליך אורגני. בנקודה זו נרחיב את הדבור בתחילת פרק 3.

אטומי הונדיום בגביש V_3Si מסודרים בצורה מרחבית מסובכת אשר אינה חד־מימדית, נצפה לכן שמודל קואזי־חד־מימדי יתאר יותר טוב מערכת פיסיקלית זו.

בתחילת פרק 3 נדון בצורה מעמיקה יותר ביכולתו של מודל קואזי־חד־מימדי לתאר את מערכת האלקטרונים בגביש

מעבודתו של קין גרסון ז"ל

V_3Si אשר הנו על־מוליך בטמפרטורה גבוהה יחסית $T_c=17.0^oK$ ויש החושבים[12] שתכונה מיוחדת זו נובעת מהמבנה הקואזי־חד־מימדי של אטומי הונדיום בגביש זה.

בפרק 2 נביא הרחבה של מודל גז האלקטרונים החד־מימדי. הרחבה זו תהיה גז אלקטרונים תלת־מימדי הומוגני ואן־איזוטרופי. במודל זה מסת האלקטרון הנה טנזור אלכסוני, כאשר הגדלים M_{xx} ו־M_{yy} גדולים מ־M_{zz}. משטח פרמי הוא אליפסואיד שטוח ובגבול $M_{zz}/M_{xx}\Rightarrow 0$ משטח פרמי הוא שני מישורים מקבילים, ונקבל תוצאות המתקבלות מן המודל החד־מימדי.

בפרק 3 נביא הרחבה נוספת של מודל חד־מימדי והיא צימוד תלש של שרשראות חד־מימדיות. נדון באוסף שרשראות לינאריות היוצרות מבנה מרחבי של שריג ויכולות, לכן, להוות מודל לתאור אטומי הונדיום בגביש V_3Si. בנוסף נדון בפרק זה בדומה ובשונה שבין שתי ההרחבות שהובאו, ונראה שבשני המודלים אנרגית הפלאסמונים לא יורדת לאפס כאשר וקטור הגל שואף לאפס.

בכל המודלים בהם נדון נעבוד בקרוב R.P.A. (Random Phase Approximation). לא נסביר פה מהי שיטת קרוב זה, ישנם מספר ספרים המטפלים בצורה ברורה בטכניקה של גופים רבים בכלל, ובקרוב זה בפרט. לקורא שאינו מתמצא בטכניקה זו מומלץ במיוחד ספרו של Mattuck[5].

הביטויים המתימטיים המתקבלים מהפעלת קרוב R.P.A. כוללים אינטגרלים. בשלושת המודלים הראשונים שציינו יש לאינטגרלים ביטוי מפורש. במודל הרביעי (זה שמובא בפרק 3 ודן בצימוד שרשראות לינאריות) אין לאינטגרל ביטוי מפורש. כדי לקבל תוצאות עבור מודל זה, נבנתה תוכנית למחשב שתיתן את התוצאות המבוקשות. התכנית היא מורכבת ויכולה לשמש גם כדי לחשב בצורה יותר מדויקת את תכונות מערכת האלקטרונים של אטומי הונדיום בגביש V_3Si, ועל כך ראה בתחילת פרק 3. תאור כללי של התכנית נמצא בנספח מספר 1. התוצאות הנומריות המתקבלות בעזרת התכנית מסוכמות בגרפים הנמצאים בסוף העבודה, והסבר לגרפים נמצא בפרק 3.

מקורות

1. TOMONAGA S., Prog. Theor. Phys. 5,4, (1950).
2. FRÖLICH H., Prog. Roy. Soc. (London). A, 215, 291 (1952).
3. LITTLE W.A., Phys. Rev. A, 134,1416 (1964).
4. FERRELL R.A., Phys. Rev. Lett. 15,330 (1964).
5. MATTUCK R.D., A guide to Feynman diagrams in the many Vody problem. London, Mc Grew-Hill (1967).
6. SHICK M., Phys. Rev. 166, 404 (1968).
7. DE GENNE, Batsheva Seminar on Theoretical Solid State Physics 19.12.1966-4.1.1967.
8. LANGER J., VOSKO S.M., J. Phys. Chem. Solids. 12, 196 (1960).
10. SCHULTZ T.D., Quantum Field Theory and the Many Body Problem N.Y. Gordon and Brea.
11. DZYALOSHINSKII I.E., KATS E.I., J.E.T.P. 28, 1, (1969).
12. LABBE J., FRIEDEL J., J. Phys. Radium 27, 153 (1966).
13. WEGER M., J. Phys. Chem. Solids. 31,1639 (1970).
14. HERMAN F., SKILLMAN S., Atomic Structure Calculation.