

מאמר ראשון בסדרה

ארבעת ה-Cs

מנקודת מבט מדעית

בן ציון מנשה DG GCI, Physics, יהודה יקר GG GIA

בסדרת כתבות שתפורסם בגיליונות 'היהלום' הקרובים ננסה להעביר את ההסברים המדעיים העומדים בבסיס הקריטריונים הקובעים את איכות היהלום, והידועים בעולם כארבעת ה-Cs - משקל (carat), צבע (colour), ניקיון (clarity) ואיכות העיבוד (cut). קריטריונים אלה פותחו בסוף שנות השלושים על ידי מייסד ה-GIA, רוברט מ. שיפלי, במגמה להציג כללים מוסכמים להערכת היהלום. נתחיל את הדיון בהקדמה מדעית על מבנה גביש היהלום ועל פיזור האור העובר דרכו, ונמשיך בהשפעות של 'זיהומים' ופגמים שונים על צבע היהלום, שיטות הבדיקה ושדרוגים

C:C. לאטום הפחמן יש ערכיות של ארבעה אלקטרונים, משום שדרושים לו עוד ארבעה אלקטרונים כדי למלא את מסלול $2p$ לששה אלקטרונים. החיים על פני כדור הארץ מבוססים על אטום הפחמן. כשהפחמן מקושר לאטומים אחרים כגון מימן וחמצן, נוצר עולם שלם של מולקולות אורגניות, כמו שומנים וחלבונים. בהיות הפחמן חומר אלטרופי¹ הוא מופיע בטבע

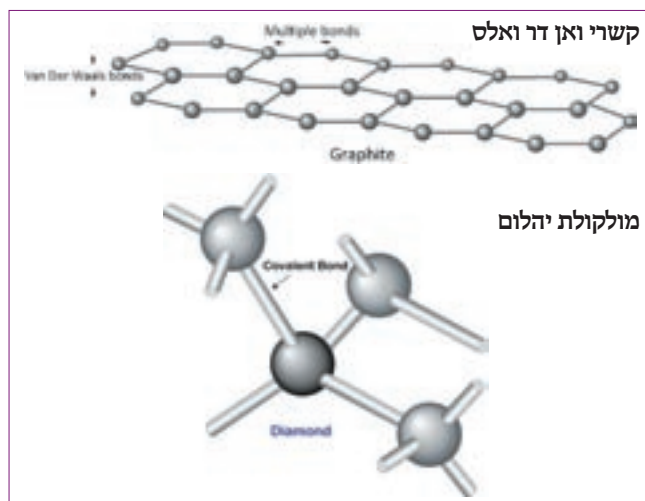


בצורות מולקולאריות שונות כיהלום, גרפיט (למשל - חוד העיפרון) ועוד, הנבדלים זה מזה במבנה הסבכה (Lattice). קשרי הפחמן ביהלום הם קשרים קוולנטים². שלדו הוא סבכה של פירמידה משולשת (טטרהדר). בגרפיט הסבכה היא בעלת מבנה של משושים בקשרי ואן דר ואלס, היוצרים לוחות שטוחים. לקשרי ואן דר ואלס אנרגיית שבירה חלשה בהשוואה לקשר הקוולנטי ביהלום. שוני זה גורם לכך, שהגרפיט, בשונה מהיהלום, הוא חומר פריך. חשוב להבין, שבתנאי לחץ וחום סטנדרטיים יציב הגרפיט (מבחינה אנרגטית) יותר

מדוע יש צבע ליהלום? האם יהלום הנראה יפה וטבעי מכיל סודות כמוסים, המטילים צל על המסקנה הראשונית שמסיקה עין המתבונן? כיצד ייתכן ששני יהלומים, לכאורה בעלי אותם נתונים, נראים שונה כל כך? כדי לענות על שאלות אלה נצטרך לצאת למסע עמוק אל תוך נבכי היהלום, ולהבין את הגורמים הכימיים

והפיסיקליים הגורמים ליהלומים מסוימים להיות כל כך נפלאים ויקרים. הפחמן [C] הוא האטום השישי בטבלה המחזורית של מנדלייב. מכאן נובע, שבגרעינו ששה פרוטונים וששה נייטרונים, המאוזנים על ידי ששה אלקטרונים בקליפות החיצוניות. המבנה המסלולי של אטום הפחמן הוא $1s^2 2s^2 2p^2$, והוא יכול להיקשר לעוד ארבעה אטומי פחמן בקשר קוולנטי. כל זוג אטומי פחמן בקשר משותף שני אלקטרונים

¹יסוד המופיע בכמה צורות
²קשר כימי חזק ביותר



קשרי ואן דר וואלס בגרפיט, המורכבים מדיפולים של אטומים קטנים, מושכים זה את זה כמגנטים קטנים. קשר זה חלש יותר מהקשר הקוולנטי בין אטומי הפחמן ביהלום

השתברות האור יש ערכים שונים עבור אורכי גל שונים. עבור היהלום מקדם השתברות האור הוא $RI=2.417$ (Refraction Index). כדי לקבוע אחידות מדידה מודדים את RI באורך גל של הנתרן (צהוב) בספקטרום האור הנראה.

השתקפות פנימית

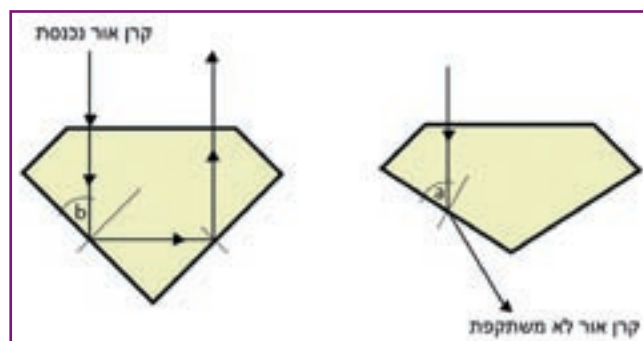
מאחר שאנו יודעים שהאור משנה את מהירותו כשהוא עובר בין שני חומרים שונים בעלי מקדם שבירה שונה, אנו מגלים שתכונה זו משפיעה השפעה מכרעת על אופן נצנוץ היהלום. לדוגמה: הזווית המרבית של האור הפוגע ביהלום הנמצא באוויר, כדי שקרני האור יחדרו אליו היא כ-24 מעלות. כל קרני האור מעל זווית זו לא יחדרו ליהלום ולא יתרמו לנצנוץ ולאש. אם נשקע את היהלום בתוך אלכוהול, למשל, נקבל זווית גדולה יותר, והיהלום ינצנץ פחות. המסקנה היא, שכל הזוויות של גלי האור הגדולות מהזווית הקריטית לא ישתקפו לתוך היהלום ולכן לא יתרמו לנצנוץ. הזווית הקריטית בין יהלום לאוויר קטנה מהזווית הקריטית בין היהלום לאתיל אלכוהול, ולכן היהלום ינצנץ יותר באוויר. ●

מהיהלום. היהלום, שהוא מטא-יציב, יכול להפוך לגרפיט בתנאי לחץ וטמפרטורה גבוהים. ובמילים אחרות - מעל לסף מסוים יכול טיפול HPHT להפוך יהלום ששווי 200 אלף דולר לעיפרון ששווי שקל ורבע. הסידור הטטרהדרלי התלת מימדי של היהלום מורכב משמונה אטומי פחמן המסודרים במרחב במרחקים שווים, ויוצרים מבנה גבישי קובייתי כשהם בסבכה. הקישור הכימי הקוולנטי החזק (אנרגיית שבירה = 170 קילוקלוריות/מול) מקנה ליהלום את הקשיות שלו - 10 בסולם מוס, ואת טמפרטורת ההתכה שלו - מעל $3500^{\circ}C$.

השתברות אור

מבנהו הכימי של היהלום יוצר גביש שקוף וקשה שהוא בעל תכונות אופטיות כמו 'אש' ונצנוצים. כדי להבין תכונות אלה ואיך לשפרן בתהליך הליטוש עלינו לעמוד על קנקנו של האור כמושג ועל התנהגות גלי האור בתוך גביש היהלום.

כשהאור עובר בחומרים שונים משתנה המהירות שלו בגלל השפעות של שדות חשמליים באטומי החומר (אלקטרונים), המגיבים באותה התנדדות אך בעיכוב מופע, המייצרת מטענים חשמליים קטנים. סכום כל המטענים החשמליים מפיק גל חדש מעוכב מופע, המאט את הגל המקורי. במילים אחרות: מקדם השתברות האור מתאר את היחס בין מהירות האור בוואקום למהירות האור בחומר. מקדם השתברות האור הגבוה של היהלום מעלה את ההשתקפויות הפנימיות והגיאומטריה שלו הנובעת מצורת הליטוש ואיכותו מוסיפה לאש ולנצנוצים. למקדם



זווית b קטנה יותר מהזווית הקריטית של היהלום, ולכן קרן האור תשתקף אל תוך היהלום, תפגע בפאות (פאסות) נוספות, ותחזור לעין המתבונן, ולכן תתרם ל'נצנוץ'. זווית a גדולה מהזווית הקריטית של היהלום, ולכן קרן האור תצא מהיהלום ולא תתרם להשתקפויות הפנימיות