

החלקיק היסודי של החלל-הריק

התוכן

2	הקדמה.....
3	הגדרת החלקיק-היסודי.....
4	חלקיקים תת-אטומיים.....
5	תנועה של חלקיק תת-אטומי.....
6	יחסי גומלין בין שני חלקיקים תת-אטומיים.....
7	תכונותיו הפיסיקליות של הפרוטון.....
9	המרווח בין החלקיקים היסודיים.....
11	קטבי מגנט.....
12	עידוש כבידתי ואנרגיה אפלה.....
12	"עידוש כבידתי".....
13	"אנרגיה אפלה".....

הקדמה

אנו נוהגים להצמיד לתופעות טבע שונות תיאורים אשר לא תמיד מהווים הגדרות מושלמות. אחת מהן היא מה שמכונה "חלל ריק". עצמים עוברים דרכו ללא שינוי בתכונותיהם, ולפיכך הוא נחשב ניטרלי או ריק. אולם בגלל זה שאלומת קרינה אלקטרומגנטית עוברת דרכו תוך שמירה על אופי גלי, אי אפשר להתעלם מן האפשרות שהוא מהווה תווך עבור גלי הקרינה. כמו כן, דרכו מתקיים כוח משיכה בין גופים, הקרוי כבידה (גרביטציה), וגם כוח דחייה בין גופים (למשל, בין פרוטונים או בין קטבי מגנט) לפיכך הגדרתו כ"חלל ריק" אינה מדויקת. עלינו למצוא איך יתכנו במרחב המכונה בפינו "חלל ריק" קיומם בוזמנית של תנועת עצמים ללא שינוי בתכונותיהם, של גלים, של כבידה ושל תופעות נוספות. נגדיר כאן חלקיק-יסודי אשר כל המרחב המכונה "חלל ריק" מאוכלס בו.

הגדרת החלקיק-היסודי

לחלקיק היסודי אין שום תכונות פיסיקליות ידועות כגון מסה, כבידה, אנרגיה מכל סוג, תנע; ועוד. זאת, כי אילו היו לו כאלה אפשר היה לצפות בו והמרחב הקרוי "חלל ריק" לא היה נראה ריק. החלקיק היסודי מוגדר כקיים. בתור שכזה הוא תופס במרחב נפח הייחודי רק לו; דהינו שני חלקיקים יסודיים אינם יכולים לחלוק (גם לא באופן חלקי) את אותו נפח. היות שאיננו מכירים אותו איננו יכולים להגדיר בו שום הגבלות. למשל, איננו מטילים עליו עמידת דום ולכן מתקיימת בו תנועה. נתאר אותה תנועה עצמית עצמונית (Spontaneous-self-movement).

חלקיקים תת-אטומיים

החלקיק היסודי נע אל כל כיוון אקראי ותנועתו מוגבלת רק על ידי הימָצאותו של חלקיק יסודי אחר במסלול תנועתו. היות שלא קיים תנע, לא קיימת התנגשות אלסטית; אזי כאשר חלקיק יסודי מתנגש בחלקיק יסודי אחר, השניים נותרים צמודים זה לזה עד שתנועתם העצמית עצמונית - ובהעדר חלקיקים יסודיים חוסמים - גורמת להם להיפרד.

כאשר מספר חלקיקים יסודיים נצמדים ביחד, הם יוצרים מבנים הנקראים חלקיקים תת-אטומיים - מקבילים לידועים בפיסיקה תחת אותם שמות. היות שתנועת החלקיק היסודי נחסמת בידי חלקיקים יסודיים סמוכים, הרי צפיפות החלקיקים היסודיים במרכז החלקיק התת-אטומי הינה מירבית והיא פוחתת והולכת בהתאם לריחוק ממנו.

חלקיק תת-אטומי מאופיין במספר החלקיקים היסודיים המאכלסים אותו. קיימים הרבה חלקיקים תת-אטומיים. לדוגמה, אחד החלקיקים התת-אטומיים הגדולים (בהמשך נראה כי הוא הגדול ביותר מבין החלקיקים התת-אטומיים היציבים) נקרא פרוטון ואחד הקטנים נקרא נייטרינו. בין פרוטון לנייטרינו קיימים הרבה חלקיקים תת-אטומיים בגדלים שונים.

תנועה של חלקיק תת-אטומי

נבחן כעת אחת מן התכונות של חלקיק תת-אטומי: אם חלקיקים יסודיים עוזבים את החלקיק התת-אטומי מאחד מצדדיו וחלקיקים יסודיים מצטרפים אליו מצד אחר, אזי החלקיק התת-אטומי נהרס היכן שחלקיקים יסודיים עזבו אותו, ונבנה מחדש היכן שהצטרפו אליו חלקיקים יסודיים. למעשה, זאת תנועה של החלקיק התת-אטומי למרות שהחלקיקים היסודיים המרכיבים אותו במיקומו החדש אינם החלקיקים היסודיים שהרכיבו אותו במיקומו הקודם. מכאן, חלקיק תת-אטומי אינו גוף מוצק אלא אוסף גמיש של חלקיקים-יסודיים של "חלל-ריק" וכי תנועתו מוגדרת כשינוי מיקום צפיפות החלקיקים-היסודיים. תנועתו של גוף גדול, המורכב ממספר חלקיקים תת-אטומיים, זהה לזו של חלקיק תת-אטומי בודד, כאשר החלקיקים-היסודיים משחקים אותו תפקיד; חלקיקים-יסודיים המצטרפים לחלקיק תת-אטומי הם חלקיקים-יסודיים העוזבים חלקיק תת-אטומי סמוך.

אף על פי שבמהלך תנועת גוף ב"חלל הריק" החלקיקים היסודיים המרכיבים אותו בכל רגע נתון אינם החלקיקים היסודיים המרכיבים אותו בכל רגע אחר, תכונותיו של הגוף אינן משתנות (להוציא מקרים קיצוניים של תנועה במהירות גבוהה, שאז הגוף עשוי להתפרק).

יחסי גומלין בין שני חלקיקים תת-אטומיים

נבחן כעת את התנהגותם של שני חלקיקים תת-אטומיים במיקומים לא רחוקים כלשהם זה מזה: צפיפות החלקיקים היסודיים המגדירים חלקיק תת-אטומי הינה מירבית והיא הולכת ופוחתת בהתאם לריחוק ממנו. לכן, סביב כל חלקיק תת-אטומי נמצאים חלקיקים יסודיים בצפיפות גבוהה אך לא מירבית.

שני חלקיקים תת-אטומיים חולקים את החלקיקים היסודיים שמסביבם, ובאזור הציר שבין מרכזי החלקיקים התת-אטומיים צפיפות החלקיקים היסודיים גבוהה מזו של שאר הסביבה. לכן, החלקיקים התת-אטומיים נהרסים במיקומיהם הנוכחיים ונבנים מחדש במיקומים הקרובים זה לזה. זו היא כבידה – כוח משיכה בין גופים.

תכונותיו הפיסיקליות של הפרוטון

חלקיק תת-אטומי נמצא ביחסי גומלין עם חלקיקים-יסודיים המקיפים אותו; חלקיקים-יסודיים עוזבים אותו וחלקיקים-יסודיים מצטרפים אליו. אם מספר החלקיקים-היסודיים **המצטרפים** אליו מסביבתו שווה למספר החלקיקים-היסודיים **העוזבים** אותו לסביבתו, הוא שומר על יציבות המבנה.

אם חלקיק תת-אטומי קטן מגודל מסוים, אזי מספר החלקיקים-היסודיים המצטרפים אליו גדול משל זה שעוזבים אותו. ואם, להיפך, החלקיק התת-אטומי גדול מהגודל המסוים הזה, אזי מספר החלקיקים היסודיים המצטרפים אליו קטן משל זה שעוזבים אותו. גודל מסוים זה הוא קבוע שאליו נוטה הגודל של כל חלקיק תת-אטומי. אם גודלו של חלקיק תת-אטומי שווה לגודל המסוים הזה אזי החלקיק התת-אטומי שומר על יציבות גודל. אנו נכנה חלקיק תת-אטומי יציב כזה **פרוטון**. אין חלקיק תת-אטומי יציב גדול יותר מפרוטון או יותר קטן ממנו. הפרוטון, כפי שהוא מוגדר בפיסיקה, הוא אחד החלקיקים התת-אטומיים היציבים הידועים, אולי היחיד.

הפרוטונים, כמו כלל החלקיקים התת-אטומיים, מתקרבים אל חלקיקים תת-אטומיים בתהליך הכבידה. אך כאשר פרוטונים מעורבים בתהליך הזה הקֶרָבָה איננה מירבית; זאת משום שמתחת לקרבה מסוימת ביניהם צפיפות החלקיקים-היסודיים

המשותפים לפרוטונים נמוכה מצפיפות החלקיקים היסודיים
הבלתי משותפים ואז כל פרוטון נמשך אל סביבה הרחוקה מן
הפרוטון השני. זו דחיה. בפיסיקה מוגדרים הפרוטונים כנושאי
מטען חשמלי חיובי. ומן הפרט אל הכלל: כל שני חלקיקים תת-
אטומיים שמטענם החשמלי חיובי דוחים זה את זה.

המרווח בין החלקיקים היסודיים

עד כה דיברנו על התנהגות החלקיקים-היסודיים. כעת נדבר על **המרווח** אשר בין החלקיקים-היסודיים. כאשר חלקיק יסודי נע ממקומו, הוא משאיר אחריו במיקומו הקודם מרווח ריק – נכנה אותו **פוטון**. תנועתו של הפוטון היא בכיוון הפוך לכיוון תנועתו של החלקיק היסודי (כאשר החלקיק היסודי נע מנקודה A לנקודה B, הפוטון נע מנקודה B לנקודה A). אך בעוד תנועת החלקיק היסודי היא רציפה, הפוטון גדל והולך בהדרגה במיקומו מאחורי החלקיק-היסודי וקטן והולך במיקומו בחזית החלקיק-היסודי. היות שהחלקיק היסודי משנה את כיוון **תנועתו העצמית עצמונית**, נוצר מצב בו חלקיק-יסודי אחד עשוי להיות מוקף במספר פוטונים. את החלקיק היסודי המוקף במספר פוטונים נכנה להלן **אלקטרון**.

אלקטרון יכול להתחבר עם פרוטון כדי ליצור חלקיק תת-אטומי המכונה **ניטרון**. אך הניטרון לבדו איננו יציב ומתפרק, בדרך כלל, לפרוטון ואלקטרון. אך בהתחברות הניטרון עם פרוטון, צפיפות החלקיקים היסודיים סביב שני הפרוטונים (הפרוטון החופשי והפרוטון המוכל בניטרון) קטנה מן הצפיפות שבהיעדר אלקטרון ואז הדחייה בין שני הפרוטונים מתבטלת ושני החלקיקים התת-אטומיים נצמדים זה אל זה. וכך, ניטרונים מייצרים היצמדות בין פרוטונים לבניית מבנים מורכבים של

חלקיקים תת-אטומיים (אטומים ומולקולות). כפי שהפרוטון מוגדר כנושא מטען חשמלי **חיובי**, האלקטרון מוגדר כנושא מטען חשמלי **שלילי**. היות שהניטרון מורכב מחלקיק הנושא מטען חשמלי חיובי ומחלקיק הנושא מטען חשמלי שלילי, שני המטענים מבטלים זה את זה והניטרון אינו נושא מטען חשמלי, ומכאן שמו.

קרינה אלקטרומגנטית מורכבת מפוטונים. המרווחים בין החלקיקים היסודיים משמשים תווך לאלומת קרינה אלקטרומגנטית. על מנת לנוע במרחב נחוצה לפוטון סביבה בה החלקיקים היסודיים נמצאים בצפיפות לא-מירבית. בתוך חלקיק תת-אטומי צפיפות החלקיקים היסודיים היא מירבית; לפיכך, פוטון אינו יכול לחדור דרך חלקיק תת-אטומי ולכן חלקיק תת-אטומי מסתיר קרינה אלקטרומגנטית ואינו שקוף לה.

עד כה ראינו כיצד ב"חלל הריק" מתקיימים

* תנועה של גופים ללא שינוי של תכונותיהם

* כבידה

* משיכה ודחייה בין נושאי מטען חשמלי

* תווך לקרינה אלקטרומגנטית

קטבי מגנט

המשיכה או הדחייה בין קטבי מגנט דומה לאלו שבין נושאי מטענים חשמליים. עם זאת, קיים לא רק דמיון אלא גם זיקה בין מגנטיות למטען חשמלי.

אלקטרון, כפי שראינו, הוא חלקיק יסודי המקושר לפוטונים. לשם הפשטות נבחן אלקטרון הכולל רק פוטון אחד. באלקטרון כזה רואים שני קטבים, קוטב החלקיק וקוטב הפוטון, היוצרים שדה דו-קטבי.

השדה הדו-קטבי מאונך לכיוון הציר שבין החלקיק היסודי לפוטון. זהו השדה המגנטי. במציאות הפיסיקלית, שדה חשמלי ושדה מגנטי מאונכים זה לזה.

קיימים שני כיוונים בין הקטבים - מן החלקיק אל הפוטון או מן הפוטון אל החלקיק, וזו הסיבה לשני הקטבים המגנטיים האפשריים - צפון ודרום.

עידוש כבידתי ואנרגיה אפלה

"עידוש כבידתי"

בקרבת גוף גדול כמו, למשל, השמש שלנו, יש מפל צפיפויות; צפיפות החלקיקים-היסודיים ליד הגוף הגדול גבוהה, והיא יורדת בהתאם להתרחקות מהגוף הגדול. "החלל הריק" הוא סביבה מעורבת של חלקיקים-יסודיים ומרווחים. שינוי בצפיפות החלקיקים-היסודיים בא יחד עם שינוי בצפיפות המרווחים ביניהם. כאשר אלומת קרינה אלקטרומגנטית הנעה במרחב מתקרבת אל גוף גדול, היא פוגעת במפל צפיפויות של חלקיקים-יסודיים ומרווחים, ונחשפת למרווחים בצפיפות גדולה מזו שממנה הגיעה. בהינתן צפיפויות שונות של מרווחים, הקרן תנוע באזור בו הצפיפות היא הגדולה מכול השאר. לכן כיוון התנועה של האלומה משתנה אל כיוון הגוף הגדול.

לצופים באזורנו נראה כאילו הגוף הגדול "מושך" את האלומה כלפי עצמו ובכך מכופף את מסלולה כך שמקור האלומה (גוף שמימי מרוחק) נראה כמתרחק ממיקומו המקורי (ניסוי אדינגטון). מכיוון שמצאנו יחס ישר בין מסת הגוף הגדול למידת סטיית האלומה האלקטרומגנטית, החלטנו לקבל כמסקנה שמסת הגוף היא זו שאחראית לסטייה, ומכאן ההגדרה שאנו נותנים להסטת הקרן האלקטרומגנטית ליד גוף גדול: "**עידוש כבידתי**". המסקנה הזאת שגויה, היות שמובלעת בה התניה לא

נכונה לפיה הפוטונים בקרן האלקטרומגנטית (ועל כן פוטונים בכלל) "חייבים" להיות בעלי מסה. משום כך ההגדרה הזאת אינה מדויקת.

"אנרגיה אפלה"

צפייה בגרמי השמיים מראה כי צבע האור המגיע מרחוק מוסח לכיוון האדום; וככל שמקור האור מרוחק יותר, ההסחה לאדום גדולה יותר. מתוך אמונה שמהירות האור הינה קבועה בכל מרחב היקום הנחנו כי ההסחה לאדום מצביעה על התפשטות מואצת של היקום. תאוצה בכלל - ותאוצת ההתפשטות הנדונה כאן בפרט - מצריכה אנרגיה אך מקורה של זו מעולם לא התגלה. לכן החלטנו להוסיף את התעלומה לרשימת ההגדרות הבלתי-מדויקות ולכנות אותה "**אנרגיה אפלה**". יכולנו לוותר על הכינוי הזה אילו שמנו לב לכך שצפיפות החלקיקים-היסודיים במרחב הבין-גלקטי נמוכה מזו שנמדדה באזורנו; זה מביא לכך שמהירות האור במרחב הבין-גלקטי גבוהה מן הקבוע שנמדד באזורנו והיא הגורם להסחה לאדום ולא **האנרגיה האפלה** המסתורית.