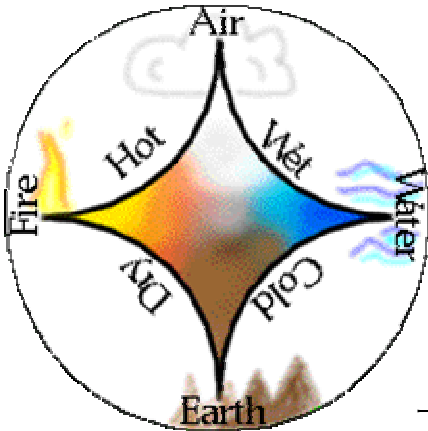


מבנה החומר

מחבר המאמר : יוסי אסטרייכר, הפקולטה לפיסיקה בטכניון

אחת השאלות המרכזיות שהעסיקו את אנשי המדע בכל הזמנים הייתה ממה בנוי החומר ומה הם ההבדלים הקיימים בין החומרים השונים. אחד ההסברים ניתן על ידי הפילוסוף והמדען היווני אריסטו שחי בין השנים 322 - 384 לפני הספירה. אריסטו הניח שהחומר ביקום בנוי מארבעה



יסודות: העפר, המים, האוויר והאש. הוא תיאר את ארבעת היסודות באמצעות פירמידה שבבסיסה יסוד העפר, שהוא הכבד מכולם, ומקומו הטבעי הוא קרוב ככל האפשר לפני הארץ. מעליו בפירמידה יסוד המים, מעליהם יסוד האוויר, ומעל כולם יסוד האש. לכל אחד מהיסודות קיימת נטייה לתפוס את מקומו הטבעי. האש קלה מאד, והיא שואפת להתרומם אל על, להגיע לשמים ואל השמש. העפר כבד מכולם והוא שוקע נמוך ככל האפשר. יסוד האוויר מרחף, ויסוד המים יכול להימצא הן באוויר והן בעפר. מעברים בין יסודות אפשריים באמצעות ארבעה גורמים מתווכים. חום מתווך בין אש לאוויר, קור – בין מים לעפר, יובש –

בין עפר לאש ורטיבות – בין אוויר למים. כל החומרים בטבע עשויים מכמויות שונות של ארבעת היסודות, ועובדה זו מסבירה את ההבדלים שביניהם. חשוב לציין שהשערתו של אריסטו אפשרה לבני האדם ליצור בתודעתם תמונה חושית ומחשבתית ברורה מאד של החומר, והיה להם נוח מאד להבין ולקבל אותה. מסיבה זו שלטה השקפתו של אריסטו בעולם במשך למעלה מאלף וחמש מאות שנים לאחר מותו.

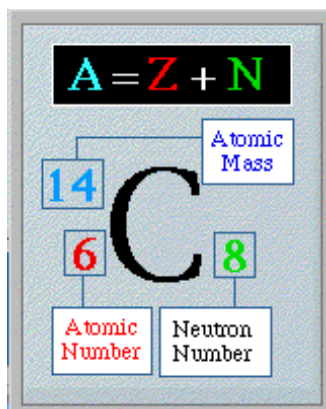
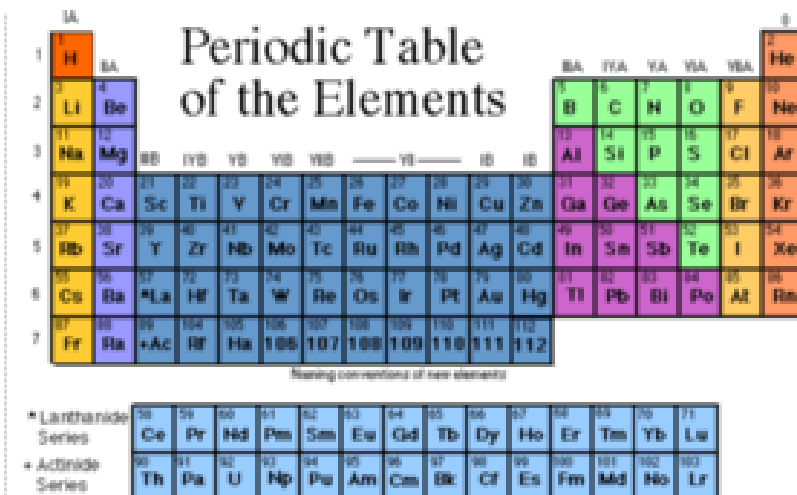
מודל החומר המקובל כיום

תפיסת מבנה החומר עברה גלגולים ושינויים רבים עד שהגיעה למודל המקובל כיום במדע. חשוב לציין שמבנה החומר המקובל כיום איננו מתאים לשום תמונה חושית שבני האדם יכולים לצייר בתודעתם, והמדענים משתמשים במודלים גיאומטריים רק כדי לייצג את חלקיקי החומר ולתאר את הקשרים שביניהם. כך, שאם במודל מופיע חלקיק של חומר בצורת כדור, אין כל וודאות שזו צורתו האמיתית. יתרה מזו, יתכן שבמציאות החלקיק חסר כל צורה מוגדרת. ואמנם מרבית חלקיקי החומר אינם בעלי צורה מוגדרת, ואין כל אפשרות ליצור תמונה מדויקת של מיקומם וצורותיהם.

כיום ידוע שכל החומר הרגיל ביקום בנוי מכ 100 סוגים שונים של אטומים. החומר הרגיל הוא חומר "רגוע" ויציב כדוגמת מרבית החומרים שעל פני כדור הארץ. חומרים אלה אינם מעורבים בתהליכים קיצוניים של טמפרטורות, תנועה והתנגשויות, הקיימים לדוגמה בזמן שוככים חדשים נוצרים ביקום, או בזמן שהם מתפוצצים. כל האטומים בנויים מחלקיקים הקרויים אלקטרונים, פרוטונים ונויטרונים. האלקטרונים מקיפים בתנועה מתמדת, את גרעין האטום שעשוי מפרוטונים ונויטרונים. כל אחד מהפרוטונים והנויטרונים כבד פי פי 2000 בקירוב מהאלקטרונים. הקשרים שבין האלקטרונים לגרעין הם בעיקרם קשרים חשמליים. העבירו מסרק בשערות ראשכם ביום יבש, ותוכלו להרים באמצעותו פיסות נייר קטנות. בין המסרק לפיסות הנייר נוצר כוח הדבקה חשמלי, הנקרא בלטינית כוח אלקטרי. כאשר אתם מקרבים מגנט לסיכות ברזל, הן נצמדות אליו. זוהי

דוגמה לפעולת כוח הדבקה מגנטי. שני הכוחות הללו מיצגים את הקשרים העיקריים הפועלים בין האלקטרונים לגרעין האטום. מסיבה זו הם נקראים בשם קשרים אלקטרו-מגנטיים. השמות שניתנו לחלקיקים הבונים את האטום, נגזרו מתוך הקשרים החשמליים הקיימים ביניהם. האלקטרון, נושא את יחידת המטען היסודית של החשמל, שנהוג לסמן אותה כ (-1) הפרוטון, נושא גם הוא את יחידת המטען היסודית, אך סימנה הפוך מזה של האלקטרון, ונהוג לסמן אותה כ (+1). הנויטרון, נייטרלי מבחינה חשמלית ואינו נושא אתו מטען חשמלי כלל. משיכה חשמלית הדדית קיימת בין גופים הטעונים במטענים חשמליים בעלי סימנים מנוגדים. בין גופים הטעונים במטענים חשמליים דומים קיימת דחייה הדדית. האטום בנוי בעיקרו מכוחות משיכה אלקטרו-מגנטיים חזקים, הפועלים בין האלקטרונים לבין הפרוטונים שבגרעין, שכן הם מנוגדים בסימן המטען החשמלי שלהם.

את האטומים של החומר הרגיל, מסדרים המדענים בטבלה הנקראת ה"טבלה המחזורית של היסודות בטבע". סדר הופעתם של היסודות בטבלה נקבע עלפי מספר הפרוטונים והנויטרונים שבהם ומידת מורכבותם: מהיסוד הפשוט ביותר ועד למורכב ביותר.



בטבלה מציגים את נתוני האטום הבאים:

- ◆ מספר הפרוטונים בגרעין
- ◆ מספר הנויטרונים בגרעין
- ◆ פי כמה בקירוב כבד האטום מאטום המימן שהוא הקל ביותר במקרים מסוימים מציגים גם את סדר האלקטרונים סביב לגרעין

אטום המימן שהוא האטום הפשוט ביותר, הפשוט ביותר מכיל אלקטרון אחד ופרוטון אחד. אטום האורניום מכיל 92 אלקטרונים, 92 פרוטונים ו 156 נויטרונים, והוא כבד מאטום המימן פי 238.

ממה עשויים הפרוטונים והנויטרונים?

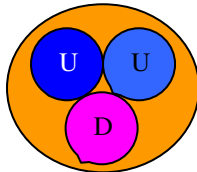
כאמור, האטום בנוי מחלקיקים. האם ייתכן כי גם חלקיקים הבונים את האטום הם בעלי מבנה פנימי ומורכבים מחלקיקים אחרים? ככל הידוע כיום לאלקטרון אין מבנה פנימי שכזה. לעומת זאת לפרוטון ולנויטרון קיים מבנה פנימי של חלקיקים הנקראים בשם "קוורקים". השמות ניתנו להם כיד הדמיון הטובה על ממצאייהם, ולא מסתתרות מאחורי השמות הללו שום משמעויות נסתרות.

הפרוטון והנויטרון בנויים משני סוגי קוורקים, ששמותיהם הלועזיים הם "UP" ו"DOWN". הקוורק "UP" נושא מטען חשמלי ההפוך בסימנו לזה של האלקטרון וערכו $2/3$ מהמטען החשמלי של האלקטרון. והקוורק "DOWN" נושא מטען השווה בסימנו לזה של האלקטרון, וערכו $1/3$ ממנו.

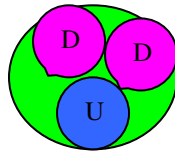
הפרוטון בנוי משני קוורקים מסוג "UP" ואחד מסוג "DOWN" שיוצרים מטען שסימנו $+1$ הנויטרון בנוי משני קוורקים מסוג "DOWN" וקוורק אחד מסוג "UP", שיוצרים 0 . בצורה גרפית ניתן לתאר אותם כך.

$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$

$$\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$



הפרוטון:



הנויטרון:

עד כה תיארו את המבנה הפנימי של האטומים בחומרים השכיחים והרגילים שעל-פני כדור הארץ וביקום. אולם, חשוב לזכור שקיימים חומרים נוספים ביקום הנוצרים כתוצאה מהתנגשויות בין חלקיקים שונים הנעים במהירויות גבוהות ביותר. בראשית המאה גילו המדענים שרמות הקרינה רדיואקטיבית שנמדדו בבלונים פורחים בגובה רב, היו גדולות מרמות הקרינה שנמדדו על פני כדור הארץ. תופעה זו הפתיעה את המדענים שכן בכדור הארץ נמצאת כמות גדולה ביותר של חומרים פולטי קרינה. הם קראו לקרינה שגילו בשם קרינה קוסמית, כלומר קרינה המגיעה לכדור הארץ מן היקום. מחקרים שנעשו מאוחר יותר גילו שקרינה זו נוצרת בעיקר מהתנגשויות בין חלקיקים מהירים מאד, מרביתם פרוטונים, לבין אטומים של חומרים שונים הנמצאים בשכבות העליונות של מעטפת האוויר שסביב כדור הארץ (האטמוספירה). בהתנגשויות אלה נתגלו גם חלקיקים יסודיים חדשים, בנוסף לאלה שכבר ציינו במאמר זה. כיום חוקרים את החלקיקים הללו במתקנים הנקראים בשם מאיצי חלקיקים, בהם מייצרים באופן מבוקר התנגשויות של חלקיקים הנעים במהירויות גבוהות מאד.