

## 17.TÉTEL

## AZ ELEKTRON

Az anyaggal kapcsolatos legelső nézeteket a görög filozófusok hagyták ránk. Démokritosz szerint minden folytonosan mozgó atomokból áll, amelyek tovább nem oszthatók. Az atomokon és az üres téren kívül nem létezik semmi. Isaac Newton már természetesnek vette a szüntelenül mozgó atomok létezését, a részecskéket (még a fény esetében is, hiszen a fény részecskemodellje tőle származik) az általa megfogalmazott tér-idő színpadon helyezte el, kölcsönhatást (mechanikai) tételezve fel közöttük. A távolhatást nem tudta elképzelni, illetve zavarta ez a fogalom. Valójában a gravitációt is közelhatásként képzelte el, bár nem tudta mi lehet a közvetítő anyag. Tehát csak anyagi testeket és a semmin átnyúló erőket képzeltek el. A kutatás egyetlen feladata az volt, hogy minél pontosabban meghatározzák a távolható erő képletét. Michael Faraday angol kémikus-fizikusnak egyszerű gondolkozásmódja számára az elektromos jelenségek tanulmányozása során azonban a távolba hatásnak nem volt semmi értelme. Az elektromos töltések és a mágnesek közt ható erőket szemléletesen úgy látta maga előtt, a teret úgy képzelte el, hogy azt valami kitölti. Faraday ezen elképzelései új korszakot nyitottak a fizika történetében. A testek között nagy távolságra ható misztikus erők helyébe a testek között és körül a térben folytonosan eloszlott "valami" lépett, és ennek a valaminek minden pontban meghatározott értéket lehet tulajdonítani. Ezzel bevezette a fizikába az elektromos, mágneses és a gravitációs kölcsönhatásra egyaránt alkalmazható mező, vagy erőter fogalmát. Az atomelmélet legtöbb követője Dalton angol kémikus nyomán az atomokat oszthatatlan és változatlan részecskékként, azaz egymásba semmiképpen át nem alakítható és kisebb részekre nem bontható egységekként tartotta. Ugyanakkor még ezekben az évtizedekben vannak olyan kutatók, akik kételkednek az atomok létében is, és vannak, akik tovább akarják osztani még elemibb részecskékre. Végül is ez utóbbiaknak lesz igazsága, hiszen a XIX. század végén felfedezik az elektront, majd néhány évtized alatt megismerik az atom szerkezetét.

Az elektromos áram ritkított gázokban (mindössze néhány Pa) való vezetésének vizsgálata közben fedezte fel az elektront 1897-ben Joseph Thomson Nobel-díjas angol fizikus. Már az 1870-es évektől kezdve ismerték azt a jelenséget, hogy a légritkított térben lévő fémelektrodok között, megfelelően nagy feszültség (néhány ezer volt) esetében a katódról sugárzás indul ki, amelyet el is neveztek **katódsugárzásnak**. Az eszköz neve pedig katódsugárcső.

Thomson vizsgálatai során kimutatta, hogy a katódsugár olyan részecskékből áll, amely részecskék azonosak, bármilyen elemet is használt katódként vagy töltőgázként. Továbbá fémekből nemcsak a katódsugárcsőben léphetnek ki az előbb említett részecskék, hanem hevítés, sőt bizonyos fémekből megvilágítás hatására is. A katódsugarak mágneses és elektromos térben való elhajlásáról arra következtetett, hogy a sugárzást negatív töltésű részecskék alkotják. Így arra a következtetésre jutott, hogy ez a részecske minden elem atomjának alkotórésze, amelyet **elektronnak** neveztek el. A szó görög eredetű és borostyánkővet jelent. (A borostyánkő dörzsölés hatására elektromos állapotba kerül, amely jelenséget már az ókori görögök is ismerték, bár magyarázni természetesen nem tudták. Erre a régen ismert tapasztalatra emlékeztet az elnevezés.)

Az elektron az első felfedezett **elemi részecske**. Az elemi elnevezés arra utal, hogy az elektron oszthatatlan, tovább nem bontható, belső szerkezettel nem rendelkezik. A mai részecskefizika továbbra is elemi résznek tekinti az elektront, szemben a később felfedezett protonnal és neutronnal, melyek a mai álláspont szerint **kvarkokból** épülnek fel.

Az elektron tömegét közvetlenül nem lehetett megmérni. J. J Thomson a katódsugarak elektromos és mágneses terében történő eltérüléséből számította ki az elektron töltésének és tömegének a hányadosát ( $e/m$ ), az ún. **fajlagos töltést**, melyre  $1,67 \cdot 10^{11}$  C/kg értéket kapott. Ebből következtetett az elektron tömegének nagyságára, feltételezve, hogy minden elektron egy  $e$  elemi töltésadaggal rendelkezik. Az elemi töltésadag nagyságát 1913-ban Robert Millikan amerikai fizikus mérte meg, s ezért később Nobel-díjat kapott. Millikan vízszintes helyzetű kondenzátorlemezek közötti homogén elektromos térbe olajcseppeket porlasztott, melyek a sűrűdés következtében elektromos töltést nyertek. A mikron nagyságú cseppek egyenletes mozgását mikroszkóppal megfigyelve következtetni lehetett a cseppek töltésének  $Q$  nagyságára. A kísérleti tapasztalat szerint a cseppek töltésére mindig az  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C **elemi töltés** egész számú többszöröse adódott.

Az elektron felfedezésével bizonyossá vált, hogy valamennyi atomnak alkotórésze egy az atomoknál parányibb, negatív töltésű elemi részecske. Így szükségessé vált olyan, az atom belső szerkezetére vonatkozó egyszerűsített elképzeléseket megalkotni, melyek számot adnak a  $z$  atomon belüli töltéseloszlásról és más atomi tulajdonságokról. Ezeket a konstrukciókat nevezzük **atommodelleknek**.

## 17. TÉTEL

Mindezek után kézenfekvő volt az a nézet, hogy az elektron parányi, negatív töltésű könnyű, pontszerű részecske – ellentétben a kettős tulajdonságot mutató fotonnal, amely az anyaggal való kölcsönhatáskor részecskeként viselkedik. A fény kettős természetének mintájára Louis de Broglie 1924-ben feltételezte, hogy nemcsak a fotonok sajátossága a **kettős természet**, hanem minden mikrorészecske – így az elektron is – rendelkezik a részecske tulajdonság mellett hullámtulajdonsággal. A nyugalmi tömeggel rendelkező részecskékhez rendelt hullámokat de Broglie hullámoknak nevezte el. Feltételezte, hogy az anyaghullámok hullámhossza és a részecskék ( $I=m \cdot v$ ) impulzusa között ugyanaz a fordított arányosság áll fenn, mint a fotonok esetében. A mikrorészecskék **de Broglie-hullámhosszát** a  $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$  de Broglie-összefüggéssel számíthatjuk ki, ahol  $h$  a Planck állandó.

Schrödinger osztrák fizikus **hullámmechanikai** leírásából következik, hogy bizonyos feltételek mellett a mikrorészecskék fizikai mennyiségei csak kvantált értékeket vehetnek fel, másfelől Heisenberg német fizikus **kvantummechanikai** elmélete olyan állapotfüggvényekkel dolgozik, amelyek bizonyos állapotokban a mikrorészecskék hullámszer viselkedését írja le. A mikrorészecskék mozgásának valószínűségi leírásával kapcsolatos Heisenberg határozatlansági összefüggése, mely szerint a mikrorészecskék helyét és impulzusát nem lehet egyidejűleg tetszőleges pontossággal megadni. Elméletileg levezette, hogy a két mennyiség bizonytalanságának szorzata legjobb esetben is a Planck-állandó nagyságába esik.  $\Delta x \cdot \Delta p \approx h$ . Ezt az összefüggést nevezzük **Heisenberg-féle határozatlansági relációnak**.

Fontos megemlíteni, hogy a kvantummechanika egzakt matematikai elméletét **Neumann János** világhírű magyar származású matematikus alkotta meg. Bebizonyította, hogy a mikrofizikai törvények valószínűségi jellege nem az ismereteink hiányosságából származik, hanem a mikrovilág saját természetéből ered.

A mikrorészecskék mozgásának egzakt leírását adó kvantummechanika segítségével új atommodell, a **kvantummechanikai modellt** alkothatjuk meg. Az új atommodell abban különbözik lényegesen valamennyi korábban tárgyalt modelltől, hogy az elektront nem tekinti az atommag körül keringő pontszerű részecskének, helyette az elektront állóhullámmal modellezi, amelyet pontszerűnek tekintett atommag elektromos tere tart fogva. Az atomba zárt térbeli elektron állóhullám csak meghatározott alakú és térbeli kiterjedésű lehet. Minden hullámalkhoz meghatározott energiaérték tartozik, melyekhez energiaszinteket rendelhetünk. A hullámmodellben a kvantumszámoknak más szemléletes jelentést adhatunk, mint a Bohr modell. Az  $n$  főkvantumszám az állóhullámmintákban a csomófelületek számát határozza meg. Az  $l$  mellékvantumszám értéke a csomósíkok számával egyenlő. Az  $m$  mágneses kvantumszám a térbeli irányultságú állóhullámok lehetséges térbeli beállítását jellemzi. Az  $s$  spinquantumszám az elektron sajátperdületének lehetséges értékeit adja meg, értéke lehet  $\pm \frac{1}{2}$ . A négy kvantumszám egyértelműen meghatározza az elektront, azaz a **Pauli féle kizárási elv**nek megfelelően egy atomon belül két elektronnak nem egyezhet meg mind a négy kvantumszáma.

Miután kiderült az elektronokról, hogy hullámtermészettel rendelkeznek, az 1930-as években megszületett az elektronnyalábbal működő mikroszkóp ötlete, az **elektronmikroszkóp**. Az elektronmikroszkóp olyan gyakorlati eszköz, amelynek működésében szerepet játszik az elektronnak mint a részecske-, mind pedig a hullámjellege egyszerre.