

ATOMOK A VILÁGEGYETEMBEN

KÖRNYEZETÜNK TÁRGYAI anyagból állanak. Első pillanatra talán szokatlannak tűnik fel, ha magának az anyagnak a szerkezetéről beszélünk. Pedig ez ősi problémája az emberi gondolkodásnak a régi hindu és görög filozófusok óta. Persze nem a szabad szemmel látható vagy esetleg nagyítóval felfedezhető anyagi szerkezetre gondolunk, hanem továbbmenve, azt vizsgáljuk, hogy az olyan egyneműnek (fizikai nyelven homogénnek és izotrópnak) nevezhető anyag, mint a tiszta víz vagy egy darab optikai üveg, igazán egynemű és egyenletes-e minden határon túl.

A tiszta víz látszólag egész egyenletesen tölti be az általa elfoglalt teret, nem találunk semmi különbséget, ha különböző pontjain vizsgáljuk a sűrűségét, fénytörését vagy egyéb sajátságait. Az elérhető legerősebb mikroszkópos nagyításnál (kb. 2000-szeres) még mindenütt egyforma eredményt kapunk. Mi történnék azonban, ha mikroszkópunk nagyítását fokozatosan növelni tudnánk ezerszeresére, sőt még tovább? Meglepetéssel tapasztalnánk, hogy oly kis térfogatokban, aminők ezzel a mikroszkóppal még jól láthatók lennének, a sűrűség már nem egyforma a folyadék különböző helyein és a sűrűséggel együtt változnak a többi sajátságok is. Nemcsak különböző sűrűséget mérhetnénk szomszédos helyeken, hanem ha egyetlen kis térfogatot figyelnénk, ebben is folyton változnék a sűrűség. Már pedig a sűrűség változása szükségképpen anyagi eltolódással jár. Kétségtelen, hogy a látszólag nyugodt, kristálytiszta vízben szünet nélkül heves mozgás megy végbe. Hogy ez valóban így van, azt az előbb feltételezett óriási nagyítású csoda-mikroszkóp nélkül is észlelhetjük, ha a vízben igen apró szilárd részecskék, ú. n. kolloid részecskék lebegnek, amelyeknek a nagysága $1-500 \mu\mu$.¹ A legnagyobbakat még jól nagyító közönséges mikroszkóppal is láthatjuk, a kisebbeket láthatóvá teszi Siedentopf és Zsigmondy találmánya, az ultramikroszkóp. Az ilyen nagyságú részecskék nem maradhatnak nyugodtan a folyadékban, hanem ide-oda ugrándoznak és pedig annál hevesebben, minél apróbbak. Már a közönséges mikroszkóppal látható részecskéken észrevette ezt a látszólag teljesen szabálytalan, zeg-zugos mozgást Brown angol botanikus, akiről a jelenséget elnevezték. Azóta már tudjuk, hogy erre a mozgásra is érvényesek bizonyos valószínűségi törvények.

¹ $\mu\mu$ (millimikron) = i milliomod milliméter.

Most hagyjuk egy percre a folyadékokat és nézzük a gázok viselkedését. Ezek közt is vannak kisebb és nagyobb sűrűségűek, a széndioxid például több mint másfélszer sűrűbb a levegőnél. Végezzük el a következő kísérletet: Vegyünk kettős edényt, melynek alsó része csappal köthető össze a felső részével. Zárjuk el a csapot, töltsük meg az alsó részt széndioxiddal, a felsőt levegővel. Ha most a csapot kinyitjuk, már rövid idő múlva kimutatható a felső edényben a széndioxid, az alsóban pedig a levegő. Annak ellenére, hogy a széndioxid nehezebb a levegőnél, mégis felemelkedett egy része az edény felső részébe, ugyanakkor pedig a könnyebb levegő egy része leszállott az alsó részbe. Ez az ú. n. diffúzió jelensége, mely minden gázra jellemző. Egyik megnyilvánulása ez a gázok általános terjeszkedési törekvésének, amelyet a régiek „horror vacui“ névvel jelöltek: a gáz mindig iparkodik a rendelkezésére álló teret teljesen betölteni.

Két jelenséget ismertünk meg, a gázok diffúzióját és a Brown-féle mozgást. Egyik sem érthető meg, ha feltesszük, hogy az anyag folytonosan, hézag nélkül tölti ki a teret. Van azonban még számos más jelenség is, melyekre közös magyarázatot kell keresnünk.

A magyarázat az, hogy a gázok és folyadékok igen apró, ultramikroszkóposnál is kisebb részecskékből állanak, amelyek állandó mozgásban vannak. Bernouilli Dániel volt ennek a kinetikus gázelméletnek a megalapítója még a XVIII. században. Ha bizonyos egyszerűsítő feltételeket hozunk be, akkor ez az elmélet alkalmas arra, hogy pontos számításokat végezzünk vele; így a részecskék száma, sebessége, a gáz fajhője, belső súrlódása stb. meghatározhatók. Ezek az alapfeltevések a következők:

1. A gáz részecskéi, melyeket molekuláknak nevezünk, nem töltik ki egészen a rendelkezésreálló teret, hanem annak csak elenyészően kis részét.
2. A molekulák állandó, nagysebességű, egyenesvonalú egyenletes mozgásban vannak mindaddig, míg az edény falába vagy másik molekulába nem ütköznek.
3. A molekulák ütközése a rugalmas ütközés szabályai szerint megy végbe.
4. A molekulák — az ütközéstől eltekintve — egymásra semmiféle erőt sem gyakorolnak.

Jól elképzelhetjük az edénybe zárt gázt, ha molekuláit egy hatalmas teremben röpködő szunyograjhoz hasonlítjuk. Nem minden molekula sebessége azonos, de a sebességek középértéke a gázban azonos hőfokon állandó marad. Az egyes molekulákról az elmélet nem tud részletes felvilágosítást adni, csak mintegy statisztikát készít róluk. Éppúgy, mint a népszámlálás eredményeit feldolgozó statisztikus pontosan megmondja pl. hogy az ország hány lakosának életkora van 20 és 21 év közt, meghatározható, hogy valamely gáztérfogatban hány molekula sebessége van mondjuk 1000 és 1100 méter közt másodpercenként. Meg kell persze adni a gáz hőfokát is. A népességi statisztikában elmosódnak az egyes lakosok egyéni jellemvonásai, éppígy a kinetikus statisztikában is. Itt azonban ez annál kevésbé esik latba, mert egy gáz molekulái egyformák. Általában minden következtetés, mely a kinetikus gázelméletből levonható, statisztikai jellegű.

Sokkal régibb keletű a kinetikus gázelméletnél egy másik elmélet, mely ugyancsak abból indul ki, hogy az anyag apró, láthatatlan részecskékből áll. Ezek a részecskék, melyek tovább már nem oszthatók, az atomok ($\tau\acute{\epsilon}\mu\nu\omega$ = vágni, $\acute{\alpha}\text{-}\tau\omicron\mu\omicron\varsigma$ = oszthatatlan). Ez az alapja a görög filozófusok atomelméletének. Leukippos és Demokritos kétezer éves gondolata azonban a középkorban feledésbe merült, mert ellenkezett az akkoriban nagytekintélyű Aristoteles felfogásával.

Kézenfekvő dolog, hogy az atomelmélet igazolása nem volt könnyű feladat az újkor elején még gyermekcipőkben járó természettudomány számára. Később azonban a kémiai vegyülés alaptörvényeinek magyarázatára Dalton angol kémikus újra felélesztette a atomelméletet.

Tudvalevő, hogy az anyagok kémiai szempontból feloszthatók egyszerűekre és összetettekre. A kémiailag egyszerű és fel nem bontható anyagok az elemek. Ezek nem oszthatók minden határon túl. Az elemeknek azon legapróbb részecskéit, melyekben az elem összes kémiai sajátságai még megvannak, az elem atomainak nevezzük. Egy elem atomai minden szempontból egyformák. Egyforma a kémiai viselkedésük, egyforma a súlyuk is, melyet a hidrogénatom súlyával mérünk. Így arra az eredményre jutunk, hogy az oxigénatom 16-szor súlyosabb, mint a hidrogén atomja, más szóval atomsúlya 16. A nátrium atomsúlya 23, a klóré 35.5 és így tovább. Már most az atomoknak van egy jellemző tulajdonságuk, az, hogy határozott számarányban össze tudnak kapcsolódni más atomokkal; így képződnek a vegyületek. Ezeknek legkisebb részecskéi, amelyekben a vegyület minden kémiai sajátsága még megvan, a molekulák. A molekula tehát már összetett. Például egy atom hidrogénből (H) és egy atom klórból (Cl) tevődik össze egy molekula sósav (HCl), melynek molekulasúlya az alkotó atomok atomsúlyainak összege, vagyis 36.5. Könnyen érthető tehát, hogy a sósav 36.5 súlyrészében mindig egy súlyrész hidrogén, azaz

27.4% és 35.5 súlyrész, vagyis 97.26% Cl van. Éppígy számítható, hogy a konyhasó, vagy nátriumklorid, NaCl, 39.31% nátriumot és 60.69% klórt tartalmaz. Akár a tengerből nyertük a konyhasót, akár bányából származik, akár mesterségesen állítottuk elő, az elemzés mindig ugyanazt a súlyviszonyt mutatja. Minden kémiai vegyületre érvényes az a törvény, hogy alkotó elemeinek súlyviszonya állandó. Ez az atomelmélet fenti tételeiből önként következik.

Vannak azután olyan elemek, amelyek többféle vegyületet is alkothatnak egymással. Így pl. 1 súlyrész hidrogén 8 súlyr. oxigénnel vizet, 1 súlyr. hidrogén 16 súlyr. oxigénnel hidrogénperoxidot ad. Ezen az egyszerű példán is láthatjuk, hogy ha két elem többféle vegyületet alkothat egymással, a fellépő súlyviszonyok a legegyszerűbb súlyviszonyok egészszámú többszörösei. A magyarázat természetesen az, hogy az első esetben egy atom, a második esetben két atom oxigént tartalmaz a képződött molekula; a víz képlete H_2O , a hidrogénperoxidé H_2O_2 .

Az eddig elmondottak szerint Dalton atomelmélete szabatosan megmagyarázza a kémiai vegyületek alaptörvényeit. Mégis akadtak olyanok még a múlt század végén is, akik az atomok létezését nem tekintették reális valóságnak, csak ügyes elméletnek és megkísérelték

a kémiai vegyülés törvényeinek levezetését az atomelmélet mellőzésével, Viszont közben a kinetikus gázelmélet további haladásokat tett. Könnyű belátni, hogy a kinetikus gázelmélet és az atomelmélet a legszorosabb vonatkozásban állanak egymással. Hiszen az elemek molekulái azonos atomokból tevődnek össze, sőt némely esetben az elem molekulája egyetlen atomból áll, mint például a nemes gázoknál¹ (hélium, neon, argon stb.). Ha tehát a molekulák létezését bebizonyítjuk, ezzel az atomelmélet valósága is be van bizonyítva.

Maga a kinetikus gázelmélet egyre több jelenséget tudott megmagyarázni, de alapfeltevéseinek közvetlen bizonyítékai még hiányoztak. Azt például be lehetett látni, hogy a molekulák térfogata elhanyagolható, mert a gázokat megfelelő nyomással rendkívül kis térfogatra lehet összeszorítani, pl. egy ezred-, sőt egy negyvenezredére is a közönséges nyomáson elfoglalt térfogatnak. Ujabban kísérletileg bebizonyították a többi alapfeltevéseket is. Senki sem látott ugyan közvetlenül egy molekulát, azonban mégis kimutatták, hogy egyenesvonalú pályán mozognak. Dunoyer francia kutató egy igen jól kiszivattyúzott, zárt üvegedény alsó részében fémcsészében nátriumot 400°-ra hevített. Az edény fölött levő részébe két, egymásután következő keskeny résen át juthatott a nátrium elpárolgó gőze. A résekkel szembenfekvő üvegfalon, mely hidegen maradt, lecsapódott a nátriumgőz, és pedig a rések geometriai vetületének megfelelő módon. Ha a rések mögé pl. vékony fémdrótot helyezett, ennek éles árnyéka is előállott oly módon, hogy annak helyén nem csapódott le nátriumtükör. Ez pedig csak úgy lehetséges, ha a nátriumgőz részecskéi, melyek ebben az esetben azonosak az atomokkal (a fémgőzök ugyancsak egyatomos molekulából állanak), egyenes vonalban mozognak. Stern és mások szellemes kísérletekkel közvetlenül meg is mérték az atomok, illetve molekulák sebességét, mely másodpercenként több száz, sőt ezer méterre rúg közönséges hőfokon, magasabb hőfokon még sokkal nagyobb. A kinetikus gázelméletből egyéb adatok segítségével kiszámítható sebesség ezzel igen jól egyezett. Ezek és más kísérletek alapján a kinetikus gázelmélet kísérletileg igazoltnak tekinthető.

Az atomelmélet ilyen végleges megerősödése mellett azonban egy régebben sarkalatosnak hitt tételét, az atom oszthatatlanságát, a tapasztalati tények súlya alatt feladta. Több mint hatvan éve fedezték fel a katódsugarakat, melyek az erős légritkítású térben (a közönséges légköri nyomás egy ezrede körül) keletkeznek, ha két fémelektrodra nagyfeszültségű egyenáramforrást kapcsolunk. A katódsugarakról kimutatták, hogy igen apró, még a hidrogénatomnál is 1844-szer kisebb tömegű részecskékből állanak, amelyeknek negatív elektromos töltése van. Ezek a részecskék az elektronok, amelyek a katódsugárban úgy repülnek egymásután óriási sebességgel, mint a gépfegyver lövedékei. Bebizonyosodott az is, hogy az elektron töltésénél kisebb elektromos töltés nincsen; azt mondhatjuk tehát, hogy az elektromosság maga is atomos szerkezetű. A pozitív elektromosság ugyanakkora legkisebb töltésekből áll, amelyeknek a tömege azonban közel egyenlő a hidrogénatoméval; ezek a protonok.¹ Minden anyag képes megfelelő körül-

¹ A nemes gázok vegyületeket nem alkotnak.

mények közt elektronokat kibocsátani; kell tehát, hogy az elektronok az atom alkotórészei legyenek. Hogy az atom csakugyan felbomolhat, azt közvetlenül megfigyelhetjük a rádiumon és a többi radioaktív elemeken. A rádium könnyű fém, közeli rokona a mészke alapelemének, a kalciumnak és a súlypátban előforduló báriumnak. Atomsúlya igen nagy, 226. Ellentétben a közönséges elemekkel, a rádium állandóan energiát termel; sötétben láthatólag világít, jelentékeny mennyiségű hőt fejleszt és különböző sugarakat bocsát ki. Eközben azonban fokozatosan el is bomlik olymódon, hogy újabb elemek keletkeznek belőle és pedig két nemes gáz, a hélium (atomsúlya 4) és az emanáció (atomsúlya 222). Ebből is látható, hogy a rádium egy atoma szétesik egy atom héliumra és egy atom emanációra. Ha pedig az atom széteshetik, akkor az oszthatatlanság nem áll fenn. Ez volt az alkimisták álma is, akik hittek az elemek átalakíthatóságában. Az ő spekulációjuk tehát elvileg nem volt helytelen. Más kérdés, hogy csakugyan meg lehet-e ezt gyakorlatilag valósítani. A radioaktív anyagok esetében ugyanis magától végbemenő átalakulásról van szó, amelyet befolyásolni semmiképpen sem tudunk. Egyelőre nincs meg a lehetősége annak, hogy az elemeket kémiaiilag is kimutatható mennyiségben mesterségesen át tudjuk alakítani, azonban egyes atomok átalakítása már kísérleti úton is sikerült.

Így tehát maga az atom is összetett rendszer. Mik ennek a rendszernek az alkotórészei, milyen építőkövekből épül fel az atom? Már előbb láttuk, hogy minden atomban vannak elektronok, amelyek negatív töltésűek. Maga az atom azonban elektromosan semleges; kell tehát, hogy pozitív alkotórészeket is tartalmazzon úgy, hogy a benne levő negatív elemi töltések száma egyenlő legyen a pozitív töltésekkel.

Rutherford angol professzor igen érdekes és finom kísérletekkel kimutatta, hogy az atom összes pozitív töltései egy rendkívül kis térfogatba, az atommagba, sűrűsödnek össze. Az atom máris igen apró, átmérője a centiméter százmilliomodrészével mérhető. Azonban ennél még százezerszer kisebb átmérőjű gömböcskében, az atommagban, foglal helyet az atom minden pozitív töltése. Viszont az elektronok az atom külsőbb részeiben helyezkednek el valami módon. Megjegyzendő, hogy az elektron saját átmérője is mintegy százezerszer kisebb az atoménál; az atom eszerint úgyszólván teljesen üres. Azt várhatnánk tehát, hogy a két ellentétes töltésű részecske, az atommag és az elektron, a köztük fennálló igen erős elektromos vonzás következtében oly közel jut egymáshoz, amint csak ezt méreteik megengedik. Ez azonban annyit jelentene, hogy az atom oly kicsire zsugorodnék össze, hogy úgyszólván teljesen elvesztené a térfogatát. Ha képzeletben megnagyítjuk az atomot akkorára, mint a Föld, akkor az elektron egy nagy templom méreteit érné el, ennél valamivel kisebb volna az atommag. Ezeknek a térfogata pedig az egész Föld térfogatához képest teljesen elenyésző. Mi az oka annak, hogy az atom térfogata mégis akkora, hogy az atommag és az elektron távolsága aránylag igen nagy? Ruther-

¹ Újabbán felfedezték a negatív elektronokkal egyenlő tömegű és töltésű, de pozitív elektronokat vagy pozitronokat is. V. ö. Ortway Rudolf, Az atombontás problémáiról, M. Sz. XXI. 1934, 244. 1.

ford erre azt az elméletet állította fel, hogy az atom nem egyéb, mint egy parányi naprendszer, melynek középpontjában (vagy gyújtópontjában) az atommag foglal helyet. Körülötte pedig nagy sebességgel keringenek az elektronok, melyeket a centrifugális erő el akar távolítani a középpontból, viszont az elektromos vonzás pedig odahúzza őket. Ha ez a két erő egyensúlyban van egymással, a távolság — éppúgy, mint a Nap és a bolygó közt — állandó marad.

Ez az igen szép és szemléletes atommodell azonban ilyen formájában még nem volt alkalmas számításokra. Bohr dán fizikus tette meg a döntő lépést, amikor az atomfizikába behozta a kvantumelméletet.

Az atommodellől ugyanis azt várjuk, hogy a segítségével meg tudjuk magyarázni az atom minden sajátosságát. Mondhatni a legjellemzőbb tulajdonsága az atomnak az, hogy elektromágneses sugárzást, fényt, tud kibocsátani, pl. akkor, ha egy fém só gőzét izzítjuk. A kibocsátott fény rendszerint nem egységes, hanem többféle színű (hullámhosszúságú) sugárzásból tevődik össze, amelyeket megfelelő műszer, a spektrográf, segítségével szét tudunk választani. Az így előálló spektrumok rendkívül jellemzők az atomra, úgy, hogy ha egy elem spektrumát valamely anyagból elő tudjuk állítani, bizonyos, hogy az illető elem abban az anyagban jelen van. Ezzel a módszerrel dolgozik a rendkívül érzékeny spektrálanalízis.

Itt nyílik meg az első kilátásunk a világegyetem végtelenségébe. Nincs hely arra, hogy akár csak futólag is vázoljuk a csillagrendszerek sokaságát. Persze csak a saját fénnel bíró, tehát izzó állapotú égitesteket láthatjuk (kevés kivétellel). Ilyen csillag a mi Földünk anyja, a Nap is. Mintegy 3000 millió csillag van abban a rendszerben, amelyhez a Nap tartozik, a Tejút rendszerében. Ezek a csillagok nagyságban nem nagyon térnek el egymástól, átmérőjük 1 millió kilométer körül van, tehát mintegy százszor akkora, mint a Földé. A Tejút rendszerében levő csillagok térfogata úgy viszonylik a rendszer egész teréhez, mintha a Föld térfogatában valami 30 tenniszlabda röpködne. Milyen sajátosságos analógiák ezek most már három lépcsőben egymásután! A csillagrendszerek tere majdnem üres. Ha a gázállapotú anyagot tekintjük, melyből a csillagok állanak, ez az anyag maga is majdnem üres, mert a molekulák térfogata elhanyagolható. Végül pedig az atomok, amelyekből a molekulák állanak, ismét oly részecskékből, atommagból és elektronokból vannak összetéve, amelyeknek térfogata az atomokhoz képest elenyésző.

Elképzелhetetlenül nagy az a tér, melyben a csillagok mozognak. Azonban a Tejút maga is csak egyike a rengeteg csillagrendszernek, a távcsövekkel felfedezhető spirális ködök és gömbhalmazok maguk is rengeteg sok csillagból állanak.

A távoli csillagok csak fényjeleket küldenek felénk. Ezeket a fényjeleket iparkodik megfejteni az asztrofizika, a világegyetem fizikája.

Az első alapvető tény, amelyet ezekből a fényjelekből kiolvastunk, az, hogy a csillagokban ugyanazon elemek találhatók, mint Földünkön. A spektrumok világosan és intenzíven mutatják elsősorban a hidrogén, hélium, azután a kalcium, vas, oxigén szilícium stb. ismert vonalait. Sőt ezeket a spektrumokat teljesebb sorozatban találhatjuk

meg a csillagok színekében, ahol több vonaluk jelenik meg, mint amennyit laboratóriumban meg tudunk figyelni.

Hogy a csillagspektrumok nagyobb teljességét megérthessük, a spektrumok keletkezését kell az atomelmélet alapján közelebbről szemügyre vennünk.

Ma már — hála a rádiónak — igen széles körökben ismertek az elektromágneses hullámok, amelyeknek a hosszúsága igen különböző lehet. Terjedési sebességük viszont mindig ugyanaz légtérben, másodpercenként 300.000 kilométer. Ugyanekkora a fény terjedési sebessége; ebből, valamint sok más tényből az következik, hogy a fény maga is elektromágneses hullámzás. A rádióadók által kibocsátott hullámok hullámhossza pár kilométertől néhány méterig terjed, le lehet menni azonban egy-két milliméterig is. Ha a hullámhossz tovább csökken, a hullámok sajátosságai fokozatosan módosulnak, az anyag erősen abszorbeálja őket, erről és más sajátosságaikból ráismerhetünk a hősugarakra. Még kisebb hullámhosszúnál, pár tized μL -nál,¹ más szóval 8000 és 4000 \AA között a látható fényhez érünk. Ennél kisebb hullámhosszúak rendre az ultraibolya-, röntgen-, radioaktív γ - és a világről érkező kozmikus sugarak.

A sugárzás — közelebbről a hősugárzás — törvényeinek magyarázatára állította fel 1900-ban Planck német kutató alapvető fontosságú kvantumelméletét. Rövidesen felismerték, hogy ez az elmélet mindenféle elektromágneses hullám terjedésére érvényes és pedig az energia kibocsátására és elnyelésére egyaránt. A kvantumelmélet alaptörvénye így szól: „Sugárzó energia nem bocsátható ki akármilyen kis mennyiségekben, hanem csak meghatározott elemi kvantumokban; az elemi kvantum energiamennyisége (ϵ) egyszerűen arányos a hullám rezgésszámával: $\epsilon = hu$, ahol h a rezgésszám és h állandó, a Planck-féle konstans“. Ebből az eléggé egyszerű alaptörvényből levezethetők a hősugárzás összes törvényei. Einstein alkalmazta a fényelektromos jelenségekre, Bohr pedig bevitte az atomfizikába.

Bohr elméletének lényege az, hogy az atom különböző, de egészen meghatározott energiaállapotokban létezhetik. Minden atomhoz tartozik egy vagy több sorozat ilyen energiaállapot. Egyik energiaállapotból a másikba való átmenet oly módon történik, hogy a kettő közötti energia-különbséget az atom egy fénykvantum alakjában kisugározza, ha az első állapot nagyobb energiájú volt, az ellenkező esetben pedig az energia-különbséget egy fénykvantum alakjában elnyeli.

Az atomspektrum vonalai mind egy-egy ilyen energiaátmenetnek felelnek meg. Így fel tudjuk állítani bizonyos átmenet-sorozatok törvényeit, amelyek alapján felismerhető, hogy valamely spektrumvonal beletartozik-e egy bizonyos sorozatba.

A hidrogén atomspektrumának vonalai (az ú. n. Balmer-sorozat) sok csillag spektrumában túlnyomó erősségűek. Megjelennek az atomspektrumnak olyan vonalai is, amelyeket földi laboratóriumban előállítani eddig még nem sikerült. Ennek az az oka, hogy ezek a vonalak csak rendkívül kis sűrűségű hidrogéngázban állanak elő, amely viszont

¹ μ (mikron) = egy ezred milliméter.

² \AA (Angstrom) = egy tized millimikron.

csak úgy ad elég erős spektrumot, ha óriási vastagságú fényforrásunk van. Ilyen persze a Földön nem áll rendelkezésre, de adva van a hatalmas kiterjedésű csillagködökben. A Bohr-féle elmélet szerint az atomok átmérője, melyek ezeket a magas rendszámú vonalakat kibocsátják, sokkal nagyobb a közönséges állapotú hidrogénatoménál. Az átmérő az alapállapotban, vagyis a legkisebb energiájú állapotban a legkisebb ; ez az állapot a legvalószínűbb. Magasabb energiaállapotból az alapállapotba való visszatérésnek a valószínűsége azonban igen csekély a csillagködök hihetetlenül ritka közegében, ahol esetleg évekig repülhet egy atom egyenes vonalban, míg egy másikkal összeütközik. Viszont kiszámítható, hogy az ilyen nagy energiátartalmú atom átmérője közel ezerszer akkora, mint a közönséges hidrogénatomé. Ilyen hidrogénatomok a Földön mérhető időtartamig nem létezhetnének.

A világegyetemben uralkodó viszonyok lényegesen eltérnek a földiektől. Feltűnő különbségeket találunk a csillagok hőfokában. A sugárzási törvények alapján meg lehet határozni ezt a hőfokot; így tudjuk, hogy a Nap felszínének hőfoka 6000 fok körül van. Mesterségesen ilyen hőfokot még nem sikerült előállítani. De még sokkal magasabb hőmérséklet uralkodik a csillagok belsejében, mintegy tíz millió fok körül. Elképzelhetetlenül felülhalad ez minden földi tapasztalatot, hisz ily hőfokon a levegőmolekulák sebessége már 150 kilométerre rúgna másodpercenként. Ekkor az elektronok leszakadnak az atomról és hátramaradnak a csupasz atommagok, amelyek persze az atom tömegének zömét magukban foglalják, holott elhanyagolható térfogatúak. Az ilyen extrém módon ionizált gázt, melynek inkompresszibilis térfogata a közönséges gázokénál vagy ezerbilliószor kisebb, sokkal nagyobb mértékben nyomhatja össze a nagy csillagok gravitációs ereje, így érthető meg, hogy a csillagok közt találtak olyan ú. n. törpe csillagokat, melyeknek a sűrűsége eléri az 50.000-et. Ebből az anyagból tehát egy liter ötvenezer kilogrammot nyomna a Földön. A teljes ionizáció következtében azonban ez a nagysűrűségű anyag úgy viselkedik, mint egy ideális gáz, mert a kinetikus gázelmélet ismertetett alaptételei érvényesülhetnek.

Ily magas hőfokon a hősugárzás már oly rövid hullámhosszúságú, mint a lágyabb röntgensugarak (néhány Å). Bár az ilyen sugárzás sokkal jobban áthatol az anyagon, mint a látható fény, mégsem jöhet ki a csillag belsejéből a fedőréteg vastagsága miatt. Viszont azonban nyomást fejt ki az elnyelő rétegekre, amelyeket a sugárzás irányában igyekszik elmozdítani. Kiszámították, hogy ez a sugárnyomás a csillagot bizonyos nagyságon felül egyszerűen szétnyomná, a sugárnyomás t. i. nő a csillag nagyságával. A legnagyobb még stabil csillag tömege e számítás szerint $2 \cdot 10^{17}$ tonna, amely tömeget a csillagok tehát tartósan túl nem haladhatnak. Valóban körülbelül ennyi a Nap tömege és ennél lényegesen nagyobb tömegű csillag alig ismeretes.

A relativitáselmélet azt tanítja, hogy az anyag és energia közt lehetséges az átalakulás. Eszerint az anyag nem más, mint rendkívül koncentrált energia. Egy gramm anyag energiává való átalakulása körülbelül 25 millió kilowattórával egyenlő értékű. Ha ezt az átalakí-

tást valóban végre lehetne hajtani, Csonka-Magyarország egész évi elektromos energiafogyasztása fedezhető volna 30 gramm anyag átalakításával.

Erre az átalakításra a tudomány még nem képes. De vannak rá jelek, hogy ilyen energiatermelés csakugyan végbemegy a csillagokban, melyek állandóan óriási energiamennyiséget sugároznak ki, mérhetetlenül hosszú idő óta.

Ilymódon az atomelmélet betekintést nyújt azokba a távolságokba, ahonnan a fény is csak hosszú esztendők múlva jut el hozzánk. De mindezek a kutatások még csak a kezdetet jelentik ; a haladás napról napra észrevehető. Míg az ősember imádattal borult le a csillagok előtt, a kutató tudományos úton iparkodik megértésükhöz közelebb férközni.

NÁRAY-SZABÓ ISTVÁN