

## *A ciklotron, az atomrombolás új eszköze*

Az atomrombolás, illetőleg az atomátalakítás ma az érdeklődés középpontjában áll. Ezeket a kísérleteket nagy sebességű részecskékkel hajtják végre, amelyeket vagy a radioaktív elemek szolgáltatnak, vagy mesterségesen hoznak létre. A mesterséges gyorsítás alap-gondolata abból áll, hogy az elektromos töltésű részecskéket ( $\alpha$ -részeket, protonokat, deutonokat) elektromos erőterbe helyezik; az említett pozitív töltésű részeket a pozitív feszültségű elektród taszítja, a negatív feszültségű pedig vonzza, tehát az erővonalak irányában gyorsulva mozognak. (Negatív töltésű részek, például elektronok az ellentétes irányban mozognak.) Hasonló ez a mozgás a szabad eséshez, amikor is a nehézségi erőter okozza az eső tárgy gyorsuló mozgását. A szükséges nagy sebesség eléréséhez azonban lehetőleg hosszú és nagy erősségű elektromos tér, más szóval nagy feszültség szükséges. Mellékelt táblázatunk megmutatja, hogy különböző töltött részek bizonyos feszültségkülönbség átfutása után milyen nagy sebességre tesznek szert. (Az elektron sebességeire nagy hatással van a relativitás

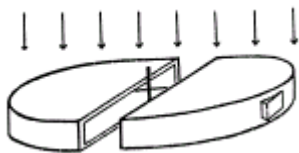
elméletéből következő tömegnövekedés, amelyet táblázatunk figyelembe vesz. A többi részecskén a megadott feszültségek mellett ez a hatás még nem jelentkezik.)

A nagy sebességű részecskék azután nagy mozgási energiával rendelkeznek és az atommag átalakítására képesek. A mozgó részecskék energiáját *erg* helyett elektronvoltban (*eV*) is megszokták adni, 1 *eV* jelenti azt a mozgási energiát, amelyet egy elektron akkor szerez meg, ha 1 voltos feszültségkülönbségen repül át. Ennek milliószorosa a *MeV* (millió elektronvolt), amelyet 1 000 000 voltos feszültségkülönbség átrepülése által nyer az elektron, 1 *MeV* =  $1,60 \cdot 10^{-6}$  *erg*. A proton és a deuton ugyanazon tér átfutása után kisebb sebességet szerez, mint az elektron, mert tömegük 1843, illetőleg 3686-szor nagyobb az elektron tömegénél, de töltésük ugyanakkora; a mozgási energiák pedig megegyeznek az elektron energiájával. Az  $\alpha$ -részek azonban ennek az energiának a kétszeresét szerzik meg, mert töltésük kétszeres, sebességük viszont megegyezik a deuton sebességével, mert tömegük is a deuton tömegének a kétszerese.

Feszültség [volt]	Sebesség [cm/másodperc]		
	Elektron	Proton	Deuton vagy $\alpha$ -rész
0	0	0	0
1	59 400 000	1 410 000	1 000 000
100	593 900 000	14 100 000	10 000 000
1 000	1 874 000 000	44 600 000	31 600 000
50 000	12 380 000 000	316 000 000	224 000 000
100 000	16 480 000 000	446 000 000	316 000 000
1 000 000	28 200 000 000	1 410 000 000	1 000 000 000

Ha atomátalakítási kísérletek céljából olyan gyors részecskékhez akarunk jutni, mint amilyeneket a természetes radioaktivitású elemek atommagjai löknek ki magukból, akkor több millió voltos feszültséget kell használni. Ilyen készülékek is vannak, de rajtuk kívül olyanokat is kitaláltak, amelyek kisebb feszültség segítségével gyorsítják meg a részecskéket úgy, hogy azokat többször futtatják végig ugyanazon a feszültségen. Ennek a gondolatnak egyik szellemes megvalósítása a ciklotron.

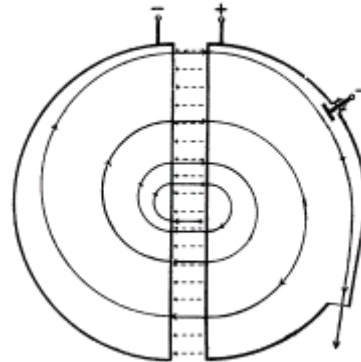
A **ciklotron** lényegében véve két félkörhöz hasonló, kb. 70 cm átmérőjű fémdoboz (1. kép), ezekre kapcsolnak rá feszültségekülönbséget és a két félkör közötti néhány cm-es részben jön létre az elektromos tér.



1. kép. Ciklotron vázlatos képe. Középen van az ionokat keltő izzószál. A mágneses tér felülről lefelé irányul.

A szerkezet közepén hozzák létre a töltött részecskéket például úgy, hogy egy izzószálból kilépő elektronok ionizálják az eszközben levő gázt. Ha ez a gáz hidrogén, akkor pozitív töltésű hidrogénatomok, vagyis protonok keletkeznek. Nehéz hidrogénből deutonok termelődnek. Tegyük fel, hogy ebben a pillanatban a jobboldali félkör pozitív, a baloldali pedig negatív feszültségű. Ekkor a protont az elektromos erők jobbról balra taszítják és nagy sebességgel belelökik a baloldali félkör belsejébe (2. kép). Közben azonban az egész szerkezet egy erős elektromágneses sarkai között foglal helyet; ha a mágnes északi sarka a rajz fölött, déli sarka pedig a rajz síkja alatt van, akkor a mágneses erővonalak felülről lefelé haladnak. A nagy sebességű proton tehát mágneses erőterben repül, az erővonalakra merőlegesen. Ismeretes azonban, hogy a mágneses tér az

elektromos áramot igyekszik helyéből kimozdítani, ezért a protont is, mint elektromos töltésű részt eltéríti egyenes útjától és kör alakú pályára kényszeríti.

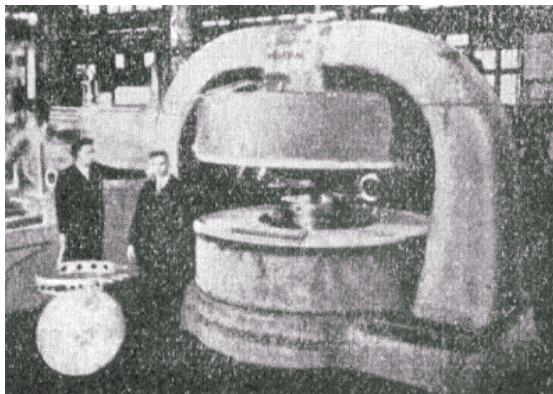


2. kép. Egy proton útja a ciklotronban.

Tehát a baloldali félkör alakú doboz belsejében a proton egy félkört ír le, közben elektromos erők nem hatnak rá, mert egy fémdoboz belsejében, az elektromos erővonalaktól árnyékolva repül.

A félkör leírása után újra a két doboz közötti részbe vezet a proton útja, most azonban balról jobbfelé, az előbbi iránnyal ellentétesen. Ha minden a régiben maradna, az elektromos tér most lassítaná és megállítaná. Azonban a félkörökre váltakozó feszültséget kapcsolnak és mire a proton ideér, a sarkok éppen felcserélődnek, a baloldali félkör lesz pozitív, a jobboldali pedig negatív. Így most az elektromos erők újra gyorsítják a protont és beleröpítik a jobboldali félkörbe. Tehát a sarkok felcserélése által érik el azt, hogy az elektromos tér újra gyorsítja a protont és ezáltal ennek, előbbi sebességéhez újabb sebesség is járul. Ezzel újra repül egy félkört, azután megint gyorsul egyet és így tovább. Közben a sebesség mindig növekszik és a félkörök sugarai mindig nagyobbak lesznek. Végül egy negatív töltésű lemez közelébe ér a repülő részecske, amely kitéríti pályájából és így egy vékony platinalemezről álló ablakon át kijut a szabadba. (A nagy sebességű részecske igen könnyen keresztülrepül ezen a lemezen.)

A ciklotron működéséhez elengedhetetlenül szükséges, hogy az elektromos tér változása pontosan együtt járjon a részecske mozgásával, vagyis ugyanolyan



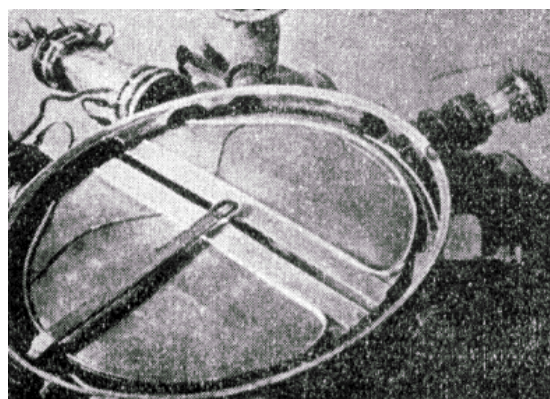
3. kép. A Berkeley-ben (Kaliforniában) épült ciklotron elektromágnes. Az összeilleszthető mágnessarkok közé kerül a ciklotron. (A Naturwissenschaften nyomán.)

ütemben menjen végbe, mint ahogyan az egyes félkörök befutásai következnek egymás után. Érdekes, hogy ez a feltétel igen könnyen teljesíthető. A fizika törvényei szerint a félkör sugara egyenesen arányos a sebességgel:

$$r = \frac{10m}{eH} \cdot v.$$

Itt  $m$  a proton tömege ( $1,6 \cdot 10^{-24}$  g),  $e$  a töltése ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  coulomb),  $H$  a mágneses térerő gaussban mérve,  $v$  pedig a sebesség (cm/mp). Ha a proton nagyobb sebességgel repül, akkor ugyanannyiszor lesz nagyobb a félkör sugara. Ez azt jelenti, hogy mindig ugyanannyi idő kell a félkör befutásához, mert, ha nagyobb a sebesség, akkor ugyanannyiszor hosszabb a megteendő út is. Ha a legelső félkör alkalmával egy ütemben van a részecske futása és az elektromos tér váltakozása, akkor később is helyes ütemben marad. Az első félkör helyes befutási idejét pedig a mágneses tér erősségével szabályozhatjuk. Például ha a két fémdoboz között 50000 voltnyi feszültségkülönbség van, akkor a proton első átrepülése alkalmával 316 000 000 cm/mp sebességet szerez; 10000 gaussnyi mágneses térben ez 3,16 cm sugarú pályát jelent, melynek kerülete 9,92 cm hosszú. A

megadott sebesség mellett a proton ezt az utat  $3,14 \cdot 10^{-8}$  másodperc alatt teszi meg. Ilyen időközökben kell a feszültséget átkapcsolni, ami csak úgy lehetséges, hogy egy 15 900 000 rezgésszámú (rövidhullámú) rádió adóberendezést használnak fel. Kb. 100 körülfutás (félkör) után kerül ki a részecske a szabadba, végül is a sugár 30 cm körüli hosszúságra növekszik. Az egész mozgás csak néhány milliód másodpercig tart. Természetesen egymás után nagyon sok részecskével történik meg ugyanez és folytonos kiáramlást, sugarat kapunk. Nagyon érdekesek a ciklotron részletkérdései. Az elektromágnes igen nagy méretű, vasmagjának súlya 60–70 tonnát, vörösrézvezetéke pedig 8–10 tonnát is elér (3. Kép). Erre azért van szükség, mert az egész 60–70 cm átmérőjű, 8–10 cm vastagságú ciklotron területén kell erős mágneses teret előállítani (4. Kép).



4. kép. A ciklotron belseje. Baloldalt láthatók a félkör alakú dobozok vezetékei. Hátul van a légszivattyú csöve, jobboldalt az eltérítő lemez vezetéke és a kivezető ablak. (A Naturwissenschaften nyomán.)

A félkör alakú fémdobozok kb. 50000 voltnyi változó feszültségét elég nagy energiájú rádió adóberendezés kelti. A ciklotront kb. 0,000 higanymm nyomással az a gáz tölti be, amelynek ionjaira van szükség. Az elektromos és mágneses terek erővonalainak alkalmas alakításával eléri azt, hogy a repülő részecskék egy síkban maradnak, nem szóródnak szét.

A ciklotron előnye, hogy vele igen sok nagysebességű részecske hozható létre.

Az elért sebesség 10 millió elektronvolt felett van, tehát a részecskék olyan nagy sebességet kapnak, mintha 10 millió voltos feszültségkülönbség gyorsította volna meg azokat. Másodpercenként több százbillió részecske kap ilyen nagy sebességet. A sok nagysebességű részecske olyan erős hatású az atomrombolás szempontjából, mint több száz kilogramm rádium. Ezért a keltett sugárzás biológiai hatása is nagy és

veszedelmes. A platinalemezen át a levegőbe kilövellt deutonok 60 cm hosszú, kék színben világító csóvát adnak. Jelenleg kb. 30 ciklotron működik csak az Egyesült Államok területén, azonkívül ilyen eszközökkel dolgoznak Angliában, Franciaországban, Dániában, Svédországban, Japánban stb. Természetesen az eszköz előállítása és működtetése igen költséges, de az elért eredmény is nagy.

Különnyomat a Természettudományi Közlöny 1939. évi november hó 11. számából.