

AZ ATOMFIZIKAI OSZTÁLY KÖZLEMÉNYE

OSZTÁLYVEZETŐ: SIMONYI KÁROLY

Egy fúziós reaktor vázolata

Irta: Simonyi Károly

Összefoglalás

A cikk leírja, hogy ismereteink mai fokán hogy képzelhető el egy fúziós reaktor. Nem állítja, hogy valóban ilyen lesz, célja csak az, hogy a megoldandó problémákat egymással összefüggően mutassa meg.

Az előző cikkekben azok a vizsgálatok találhatóak, amelyeket az Atomfizikai Osztály egyik csoportja végzett a fúziós reaktorok megvalósíthatóságára vonatkozóan.

Az első gondolat ezzel a problémakörrel nálunk 1955 tavaszán merült fel. Egészen durva megfontolások arra utaltak, hogy deutérium, vagy deutérium-trícium gázkeveréken keresztül vezetett igen nagy energiájú áramlökés magfolyamatok megindítására alkalmas. 1955 év őszén a magfizikai konferencián a konkrét közelebbről megvizsgálendő problémák sora bukkant elő [1]. Ekkor jelent meg Thirring [2] pesszimista felfogású cikke, amely a Stefan-Boltzmann törvényre támaszkodva valószínűsítette a megvalósítás reménytelenségét.

1956 elején jelentek meg a szovjet kísérletek, amelyek a közvetlen negatív eredmények mellett eredeti elképzelésünk helyességét igazolták.

1956 augusztusában a veszprémi fizikus vándorgyűlésen elhangzott előadásban sikerült a Thirring-féle felfogás helytelenségét kimutatnunk [3]. Ugyanakkor egyes előbb felvetett gondolatokat számszerű, helyesebben kvalitatív becslésszerű adatokkal alátámasztani, vagy elvetni.

Ugyancsak 1956 nyarán két cikk [4,5] jelent meg az Egyesült Államokban folyó kutatásokról. Ezekben a sugárzásra vonatkozó ösz-

szefüggések a numerikus számértékekig megegyeznek az általunk levezetett összefüggésekkel.

Az alább vázolt fúziós-reaktor modell számításánál a saját sugárzási, valamint Ridenour /6/ energiatermelési görbéit használtuk fel. Az előbb említett két cikkben foglaltakat még nem tudtuk figyelembe venni.

-.-.-

Kiséreljük meg egy, ha csak elvben is, de működő fúziós reaktormodell felvázolását mindazon, ha csak csökevényes formában meglévő berendezéssel, amely a begyújtáshoz, szabályozáshoz és a stabilitás biztosításához szükséges [1. ábra].

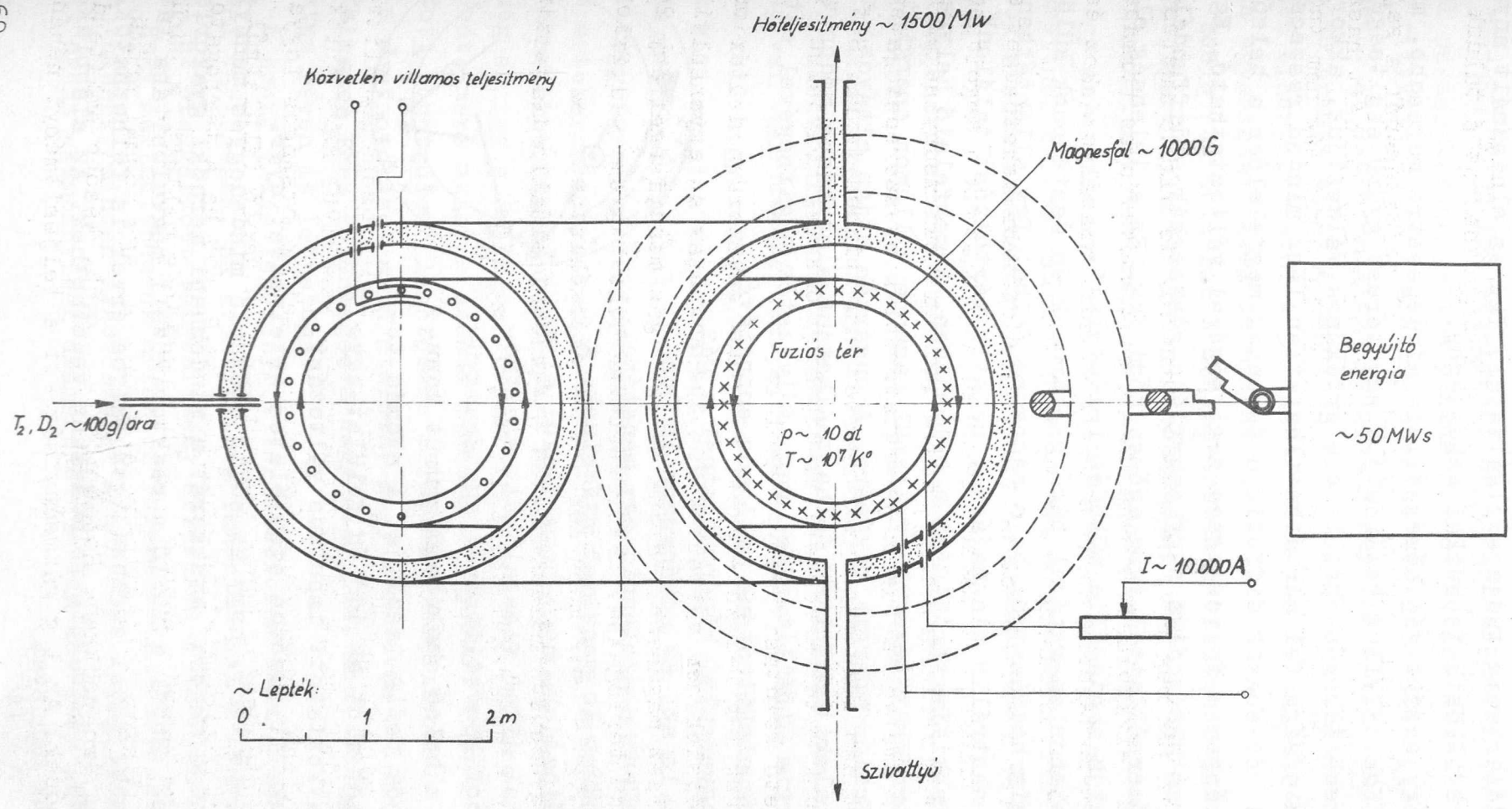
Egy ilyen modell két célt szolgál: először lehetőséget ad arra, hogy koherens formában lássuk és formulázzuk a megoldandó problémákat, másodsor, hogy lássuk azon fizikai mennyiségek nagyságrendjét, amelyek a fúziós energiatermelésnél szerepet játszanak. Ez a vázlat nem akar egy igazi reaktor prototipusa lenni. Sőt tisztában vagyunk azzal a veszéllyel is, hogy esetleg helytelen, zsákutcába vezető kutatási irányt jelöl ki.

Vegyünk 1 g D-T keveréket. Vehetünk egyszerűen deutérium gázt is. A feltételek nem változnak lényegesen, csak az egyensúlyi hőmérséklet lesz magasabb. Zárjuk be ezen gáz mennyiséget egy  $20 \text{ m}^3$  nagyságrendű térfogatba, akkor sűrűsége  $5 \cdot 10^{-8} \text{ g/cm}^3 \sim 1.2 \cdot 10^{16} / \text{cm}^3$ , nyomása pedig  $\sim 0,2 \text{ mmhg}$  lesz szobahőmérsékleten.

Az egyensúlyi hőmérsékleten a fúzióval előálló teljesítmény, amely ekkor a sugárzási teljesítménnyel egyenlő

$$P \approx 4 \cdot 10^8 \text{ cal/sec} \sim 1500 \text{ MW}$$

Ez a mindennapi gyakorlat szempontjából, összehasonlítva egy hazai erőmű 100 MW teljesítményével, rendkívül nagy érték, de nem lehetetlenül nagy. Nagyságrendben a teljes országos fogyasztással mérhető össze. Ennek elvezetése a határoló felületről nehéz, de nem megoldhatatlan probléma. Egyébként ha a térfogatot tiszteresére vesszük azonos 1 g összmennyiség mellett, a sűrűség és így a fajlagos teljesítmény is tizedére, egy normál erőmű 150 MW teljesítményére csökken. Ezzel azonban egyéb, később említendő nehézségek nőnek. Az 1 g gázmennyiség ezt a teljesítményt néhány



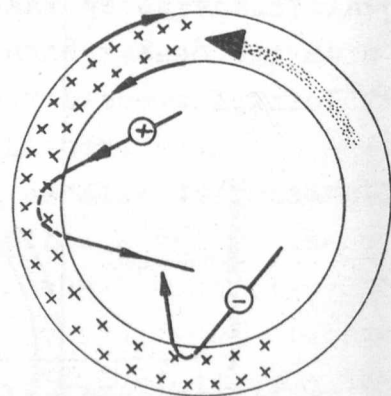
1. ábra

100 sec időtartamig tudja szolgáltatni. Így az elhasznált anyag pótlása nem ütközik technikai nehézségbe.

Az így bezárt gáz hőmérséklete mindenesetre magasabb, mint 10 millió fok. Elvileg bezárhatjuk egy tórusz gyűrű segítségével. Ha a mágneses térerősséget 1000 G értékűnek választjuk, akkor 50-100 cm vastagságu fal már áthatolhatatlan lesz minden részecske számára. A részecskék diffúziója és ennek megfelelően a belső hőmérséklet éppen a falvastagság segítségével változtatható. Egy megadott vastagságnál a nagy energiájú részecskék eldiffundálása növekvő hőmérséklettel igen erősen nőni fog. Ez a jelenség elvileg biztosíthatja a stabilis működés feltételeit.

Az azonos energiával bíró elektronok és deuteronok különböző mélységig hatolhatnak be a mágneses falba. Így ellentétben a belső tér neutrális plazmájával, negatív tértöltést találunk a fal szélén és pozitív tértöltést a belsejében. A megfelelő helyre fel-fogó elektródákat téve, közvetlenül hasznos villamos energiát kaphatunk a fúziós energia rovására. A sugárzás útján eltávozó energiát hővé alakíthatjuk és felhasználhatjuk a szokásos módon villamos energia előállítására, vagy félvezetők segítségével ezt is közvetlenül alakíthatjuk villamos energiává.

Az egyensúlyi hőmérsékletnél a gáz nyomás kb. 10 at. Ez néhányszor 10 tonna erőt jelent a szolenoid egy menetére, ha méterenként 10 menettel számolunk. A 2. ábrán láthatjuk, hogy alakul ki a mágneses fal által visszalökött elektronok és ionok közvetítésével egy áramgyűrű, amely a belső szolenoid gyűrűt vonzza, a külsőt pedig taszítja. A nyomás tehát, amelyet mint az idő és felület-egységre vonatkoztatott impulzus változást definiáljuk, ilyen módon szemléletes értelmezést nyer.



2. ábra

Meglepő tény, hogy az eddig szereplő mindenegyes mennyiség nagyságrendje akkora, amekkorát a mindennapi mérnöki gyakorlatban megszoktunk. Ebből a fúzió s reaktor közeli megvalósítása látszik valószínűnek. Ezzel szemben igen súlyos érvek is felhozhatók, amelyek ezen konstrukció feladásához vezethetnek. Az alábbiakban felsorolunk néhányat.

Vajon, hogy fog viselkedni az elektromágneses fal, ha az egyedi részecskék helyett a plazma kölcsönhatást nézzük? A fent adott fizikai kép csak mintegy asszimptotikus megközelítésnek tekinthető. Az előbb említett áramgyűrű ugyanis millió amper nagyságrendű áramot visz. A mágneses térre való visszahatás ilyen módon nem elhanyagolható. A pontos tárgyaláshoz a magneto-hidrodinamika egyenleteit kell megoldani.

Eddig nem volt szó a reakciótermékek visszatartásáról. A neutron energiáját általában a hőmérséklet fenntartás szempontjából elveszítettnek tekinthetjük, mert azok elszöknek a reakciós térből. Így az egyensúlyi hőmérséklet magasabb lesz az eddig figyelembevettnél és ezáltal a nyomás is nő. A töltéssel bíró részek hatásos visszatartásához legalább egy nagyságrenddel erősebb fal kell.

Az energiaközlő rugalmas ütközésekhez tartozó, méginkább a magreakciókhoz vezető ütközések szabad uthossza tulságosan hosszú. Az atommagok így sokkal gyakrabban ütköznek a mágneses falnak, mint egymásnak. Ilyen módon igen nagy valószínűsége van a tekercs meneteivel való ütközésnek. A menetek felülete tehát a lehető legkisebb kell hogy legyen. Másrészt tízezer amper nagyságrendű áramokat kell vinni a mágneses tér létrehozására és ugyanakkor tíz tonnányi erőket kibírni. Ezenkívül még hűteni is kell, ámbár a felületegységre eső teljesítmény nem túl nagy, ezenkívül a tértorzulás a tekercs közvetlen közelében valószínűleg szintén csökkenti a menetekbe ütköző részecskék számát. Ez a tény nem engedi a sűrűség és így a fajlagos teljesítmény kedvező értékre való csökkentését, mert akkor a szabad uthossz még jobban megnő. Az itt megadott konstrukció lehetősége ellen ez a legsúlyosabb érv. Mindezek a megfontolások arra utalnak, hogy a menetek nélküli mágneses falaknak lesz különlegesen nagy szerepük, mint amilyen a pinch effektus révén is létrejön.

A szabályozás lehetőségét természetesen csak akkor lehet eldönteni véglegesen, ha kvantitativ ismerjük azt a korrekciót, amelyet az elsugárzott teljesítmény értékében a diffúzió okoz.

Hogy megindíthassuk a fúziós folyamatot, azaz a reaktort begyűjthassuk, minden részecskével néhány keV energiát kell közölni. Az egész gázmennyiség számára ez 50 MWs energiát jelent. Az

energiaátadás elvileg feltöltött kondenzátor telepek kisütésén keresztül érhető el, vagy esetleg felhalmozott mágneses energián keresztül. Maga ez az energia felhalmozás roppant költséges és nehéz technikai feladat; az energia jó hatásfoku átadása pedig még nehezebb. Az ábra csak szimbolikusan jelzi az átadásra szolgáló berendezést.

Az előzőkből látjuk, hogy vannak mennyiségek, amelyek biztató nagyságrendűek: a geometriai méret, teljesítmény, nyomás. Más tényezők viszont elriasztók: a fal problémája a nagy szabad uthossz miatt, a szabályozás, a begyújtás kérdése. Ezekre pontos választ csak a további vizsgálatok adhatnak.

-.-.-.-

A fúziós reaktor megvalósítására szolgáló elméleti és kísérleti vizsgálatok azért is érdekesek, mert önmagukban is fontos fizikai és technikai problémák megoldását követelik. Az ilyen irányú kutatásnak még abban az esetben is van értelme, ha idővel egy, a termodinamika második főtételehez hasonló törvény bizonyulna igaznak: a fúziós reaktor földi méretben nem valósítható meg. Gondoljunk ui. a termodinamika második főtételenek bizonyítására. Ezen alaptörvény bizonyossága éppen azon a sok sikertelen kísérleten alapszik, amelyek a perpetuum mobile-t akarták megvalósítani. Mindenki, aki ma a fúziós reaktorok megvalósításának problémájával foglalkozik, ezt abban a hitben teszi, hogy kísérletei legrosszabb esetben is egy, a fent említett jellegű törvény igazolására szolgálnak és így még nem illethető a perpetuum mobile gyártó jelzővel.

I r o d a l o m

- [1] K.Simonyi, Über die Möglichkeit der Nutzbarmachung der Atomenergie ohne Kettenreaktion. Acta Phys.Hung. VI.157 /1956/
- [2] H.Thirring, Thermonuclear power reactor - are they feasible? Nucleonics, 13, 62 /Nov.1955/
- [3] Schmidt Gy., Nagyhőmérsékletű plazma sugárzása. KFKI Közlemények 5, 57 /1957/
- [4] E.Teller, Nuclear Science and Engineering 1, 313-324 /1956/
- [5] R.F.Post, Rev.Mod.Phys. 26, 338 /1956/
- [6] L.Ridenour, Scientific American 182, No.3. 11 /1950/

Érkezett 1957.febr.13.

KFKI Közlemények 5. évf. 1.szám, 1957.