

MAGFIZIKAI GYORSÍTÓ BERENDEZÉSEK TERVEZÉSÉNEK ÉS KIVITELEZÉSÉNEK NÉHÁNY PROBLÉMÁJA

SIMONYI KÁROLY

Minthogy ma már üzemben van olyan berendezés, amely nehéz részeket néhányszor 10^9 eV energiára tud felgyorsítani, felmerül a kérdés, van-e értelme egyáltalán néhányszor 10^9 eV energiájú részecskéket adó készülékeket építeni. Az alábbiakban ezzel kapcsolatban bevezetőül éppen egy készüléktípus használhatóságának megítélésénél felmerült szempontokat szeretném megemlíteni.

Hogy egy készülék használhatóságának — bár igen fontos — de nem egyetlen jellemzője a részecskék vége energiája, mutatja az a körülmény, hogy a kozmikus sugarak akár 10^{15} eV energiájú részecskéket is adnak a kísérletező kezébe: ilyen szempontból tehát a kozmotron építése is megkérdőjelezhető. A válasz természetesen könnyű: a kozmotron 10^9 részecske/sec intenzitású, míg a kozmikus sugárzás intenzitása ennél sok milliószor kisebb. A más okok: a mesterségesen gyorsított részecskék energiája, minősége kézben tartható, szabályozható, tehát beállítható a bennünket érdeklő ionféleségre és energia tartományra.

Tisztán fizikai szempontból tehát a következő szempontok döntőek egy készülék használhatóságának megítéléséhez:

1. A készülékkel elérhető energia-tartományban elvégezhetők-e akár gyakorlati, akár elvi szempontból jelentős kísérletek.
2. Azonos energia tartományban dolgozó készülékek közül melyik intenzitása legnagyobb.
3. Melyik energiája tartható legjobban kézben, tehát melyik szabályozható legpontosabban, melyik energiája a leghomogénebb.

Végül természetesen figyelembe kell vennünk a gazdasági és gazdaságpolitikai kérdéseket is: melyik milyen költséggel milyen külföldi ill. belföldi anyagokkal, illetve segédberendezésekkel valósítható meg. A tudományos irodalomból megállapítható, hogy akár gyorsított elektron, akár nehéz részecske nyalábbal 0,1 MeV energiától fel, akármekkora energiaértékig mind elméleti, mind gyakorlati szempontból igen érdekes kérdések vizsgálhatók.

A mellékelt táblázatban megtalálhatjuk az utolsó évek érdekesebb problémáit (1. ábra).

Látjuk, hogy éppen a viszonylag alacsony energiatartomány nyújt nagyon sokrétű kutatási lehetőséget. Természetesen az egészen nagy energiákat adó készülékektől sokkal fontosabb elvi jelentőségű eredmények várhatók.

szerű, olcsó, minden műszaki nehézség nélkül előállítható. Gyorsító berendezésével természetesen éppen annyi probléma van, mint bármelyik másik gyorsítóval. Ma már mint feszültségforrásnak elsősorban az a szerepe, hogy oktató intézeteknél kiszorítja a régi elektrosztatikus gépeket.

A nyomás alatti Van de Graaff generátor az 1—5 MeV tartományban jelenleg egyik leghasznosabb típusú készülék. A feszültsége igen stabilá tehető, tehát a szabályozás követelményeinek leginkább felel meg az összes berendezések közül. Áramerőssége nagy: néhány száz μA minden nehézség nélkül elérhető vele. Hátránya műszaki bonyolultsága és ennek megfelelő magas ára. Feszültségének racionális felső határa 6 MV.

A szabadtéri kaszkádgenerátor legfontosabb jellemzője a nagy áramerősség: elvileg néhány mA. Viszonylag nem túlságosan bonyolult. Biztos üzeme miatt az 1 MV határ alatt egyik legnagyobb elterjedettségnek örvendő készüléktípus. Racionális felső határa 1,5 MV körül van, de inkább alatta, mint felette. Mint az alább látni fogjuk értékét, teljesítőképességét erősen túlbecsülik.

A nyomás alatti kaszkád új típus. Elvileg erős versenytársa lehet a nyomás alatti Van de Graaffnak, bár az elektromos tér messze nem alakítható ki olyan kedvezően. A feszültségérték racionális felső határa így majdnem biztosan alacsonyabb, mint a nyomás alatti Van de Graaff generátoroké.

A kaszkádgenerátorok terhelés alatt nagy feszültségingadozást adnak, ami elvileg kiküszöbölhető, de erre vonatkozóan gyakorlati adataink nincsenek.

Az irodalomban leírt készülékek teljesítőképességének gyors megítélését megnehezíti az a körülmény, hogy általában csak a feszültségforrás üzemi (sőt néha maximális) adatai szerepelnek. (1 MV, 4 mA.) Már többet mond a feszültségforrás feszültségének és az ionforrás ionáramának megadása. Természetesen a fizikai vizsgálatok szempontjából egyetlen jellemző az *összetartozó gyorsító* feszültség és targetáram megadása. Ilyenkor az derül ki, hogy a cikk címében megadott szám inkább csak *neve* a berendezésnek és nem műszaki adata. Így például az 1MV—150 μA adatú szabadtéri Van de Graaff generátorunk 1,2 MV maximális feszültség mellett 0,7 MV feszültséget adott, ha a gyorsító cső is rá volt kapcsolva, 0,6 MV-ra esett vissza, ha gyorsítottunk, üzemszerűen 0,3—0,4 MV gyorsító feszültség mellett 10 μA targetáram volt mérhető. Ezek természetesen csak az előkísérletek igen rossz, javítható és javított adatai, de rávilágítanak arra, hogy a valóban gyorsító feszültség a generátor üzemi feszültségénél jóval kisebb. A táblázatban néhány, az irodalomból vett adatot láthatunk a fentiek illusztrálására (3. ábra).

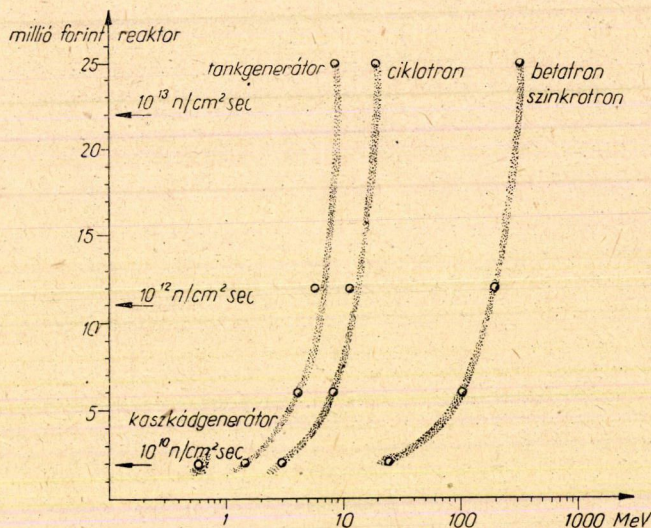
Mint említettük, az összetartozó feszültség és targetáram az, ami a fizikus számára jellemző, nem pedig a feszültségforrás feszültsége és belőle kivethető maximális áram. A feszültségforrások méretezése viszonylag egyszerűbb villamosmérnöki feladat.

A teljes gyorsító berendezés feszültségmaximumát a vákuum-átütés szabja meg, a targetáramot pedig nem az ionforrásból kivihető áram, hanem a

fokuszálási nehézségek. Az utóbbiak növekvő feszültségénél a megnövekedett úthossz miatt, növekvő áramerősségnél a megnövekedett tértöltés miatt hatványozottan nőnek. Neutronforrásként tehát a viszonylag kis feszültségű és nagy áramerősségű készüléket célszerű építeni.

Névleges feszültség MV	Maximális feszültség MV	Gyorsítási adatok		Évszám
		MV	μA	
0,8	—	0,7	10	1932
0,4	—	0,37	600	1941
		0,3	900	
1,5	1,1	0,8	100	1951
1,4	1,2	0,9	300	1952
1,5	1,28	—	250	1952

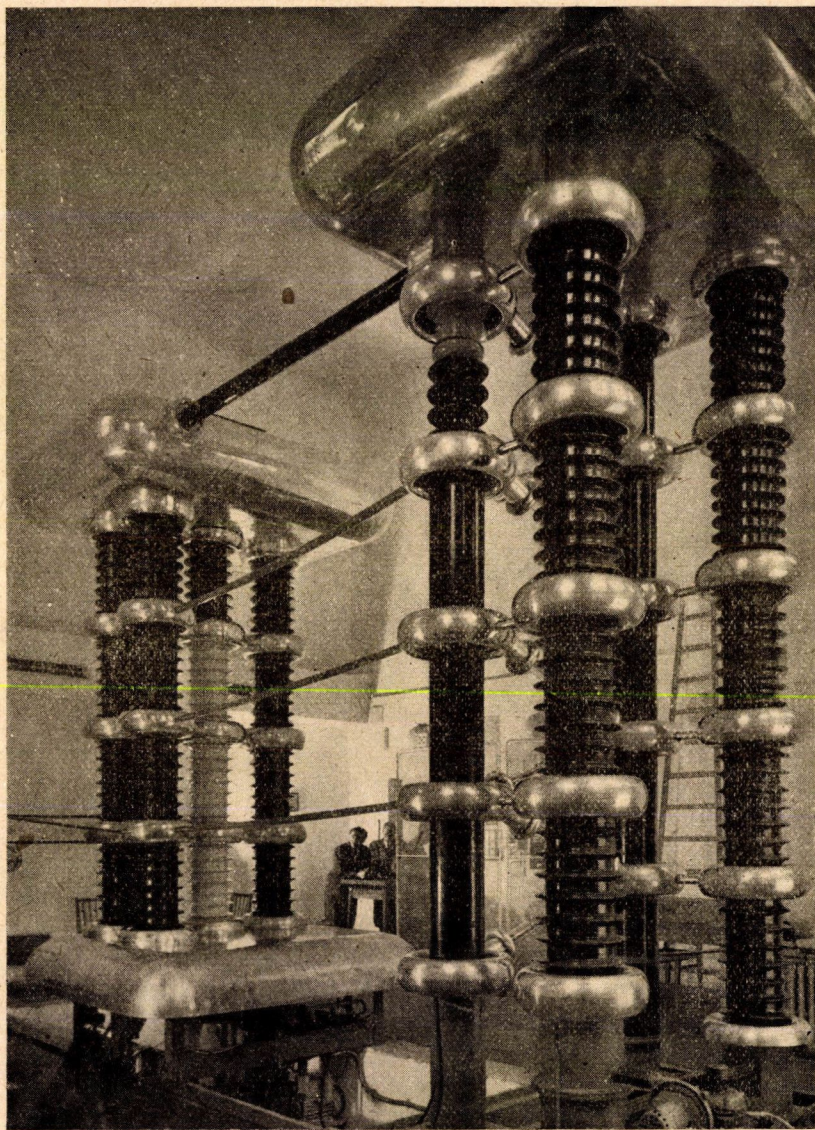
3. ábra. Az irodalomban található különböző generátorok névleges és gyorsítási adatainak összehasonlítása.



4. ábra. Különböző generátorok előállítási költsége az elérendő energia függvényében. Az ábra bal oldalán látható nyilak összehasonlítás céljából megadják egy adott neutron-fluxushoz tartozó reaktorok költségét is.

Az eddigiek alapján tehát a következőket mondhatjuk: Legolcsóbb és mégis igen sokoldalúan használható egy kaszkád-típusú gyorsító néhány százezer volt feszültséggel, mint neutronforrás. Ha ezt a berendezést egy 2—4 MV tankgenerátorral egészítjük ki, mint a 2. ábrából láthatjuk, akkor ma a világon folyó magfizikai kutatás legnagyobb részébe be lehet kapcsolódni. Erősen kérdéses egyetlen 1 MV körüli kaszkádgyorsító használhatósága.

Bár a ciklikus gyorsítókról nem beszéltünk, megemlítjük, hogy a normál ciklotron 15—25 MeV tartományon egyes izotóp gyártása miatt is fontos.

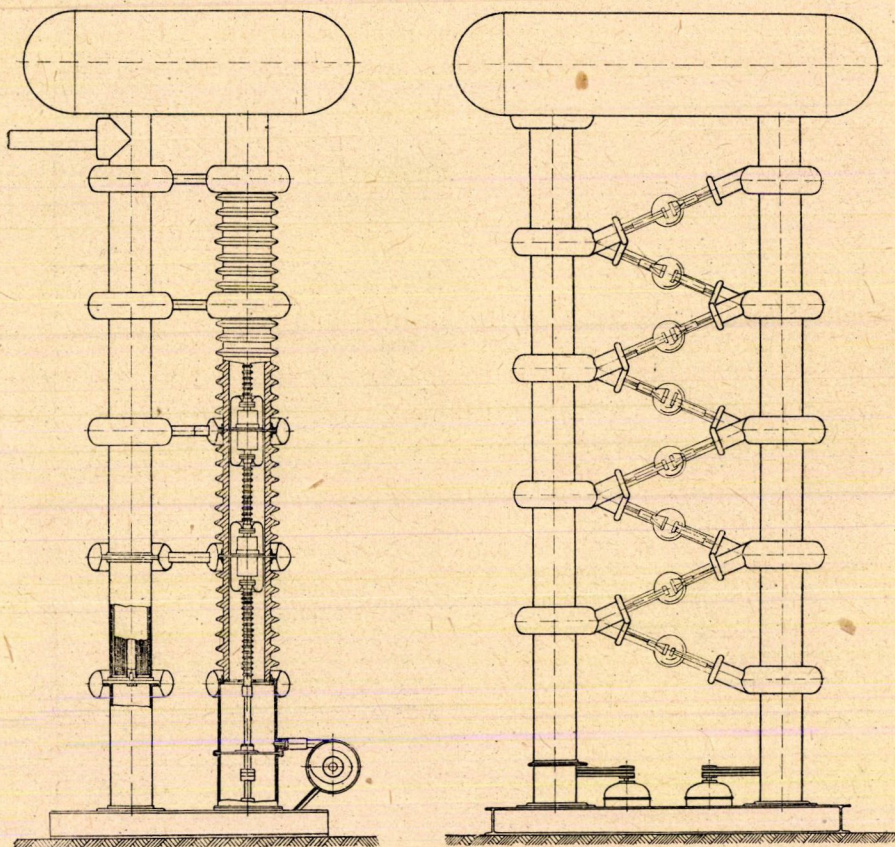


5. ábra. A KFKI Atomfizikai Osztályán épült 800 kV-os gyorsító berendezés fényképe.

A 4. ábra az árákról is némi felvilágosítást nyújt. Ebből megállapíthatjuk, hogy elektronok gyorsítása összehasonlíthatatlanul egyszerűbb. Nagyjából azonos anyagi áldozattal és szellemi energiával majdnem két nagyságrenddel nagyobb elektron energiák valósíthatók meg.

A KFKI Atomfizikai Osztályán nem követtük kezdetben az itt leírt elveket: most utólag igyekeztünk minél jobban alkalmazkodni ahhoz. A szabad-téri szalag-generátorokkal való bevezető és lényegében költségmentes kísérle-

tezés után, amelynek eredményeképpen 1951 végén a Soproni Egyetem Elektrotechnikai Tanszékén először valósítottunk meg hazánkban gyorsított nehéz részekkel atommagreakciót, az Atomfizikai Osztályon először egy 800 kV-os kaszkád, majd egy 4MV-os tankgenerátor építését kezdtük meg. Csak most térünk vissza a 600 kV-os, egészen modern kivitelezésű, új kaszkád gyorsítóhoz az előbb említett másik két gyorsító mellett.



6. ábra. A gyorsító berendezés feszültségét szolgáltató 800 kV-os kaszkád generátor rajza.

Mindegyik készülék az Atomfizikai Osztály saját konstrukciója és kivitelezése, eltekintve az egészen nagyméretű daraboktól. A méretezést természetesen az irodalomból ismert konstrukciók nyomán végeztük.

A kaszkádgenerátor egy fokozata két $0,01 \mu\text{F}$ kapacitású régebbi Meierowsky gyártmányú kondenzátorból és két Siemens vákuumventilcsőből áll 120 watt fűtőteljesítménnyel és 230 kV zárófeszültséggel (6. ábra). A transzformátorhoz csatlakozó kondenzátor kapacitása $0,02 \mu\text{F}$. Egyetlen fokozat maximális feszültsége 200 kV. A transzformátor primer feszültségét forgó átalakító

szolgáltatja. Ez a hálózatról egyenirányított gerjesztőfeszültség változtatásával szabályozható 0—300 V-ig. A feszültségesés csökkentése érdekében a frekvencia 500 c/sec. A transzformátor szekunder feszültségének csúcserőteke 100 kV. Ezekkel az adatokkal a feszültségesés 8400 V/mA, a hullámosság pedig 2000 V/mA.

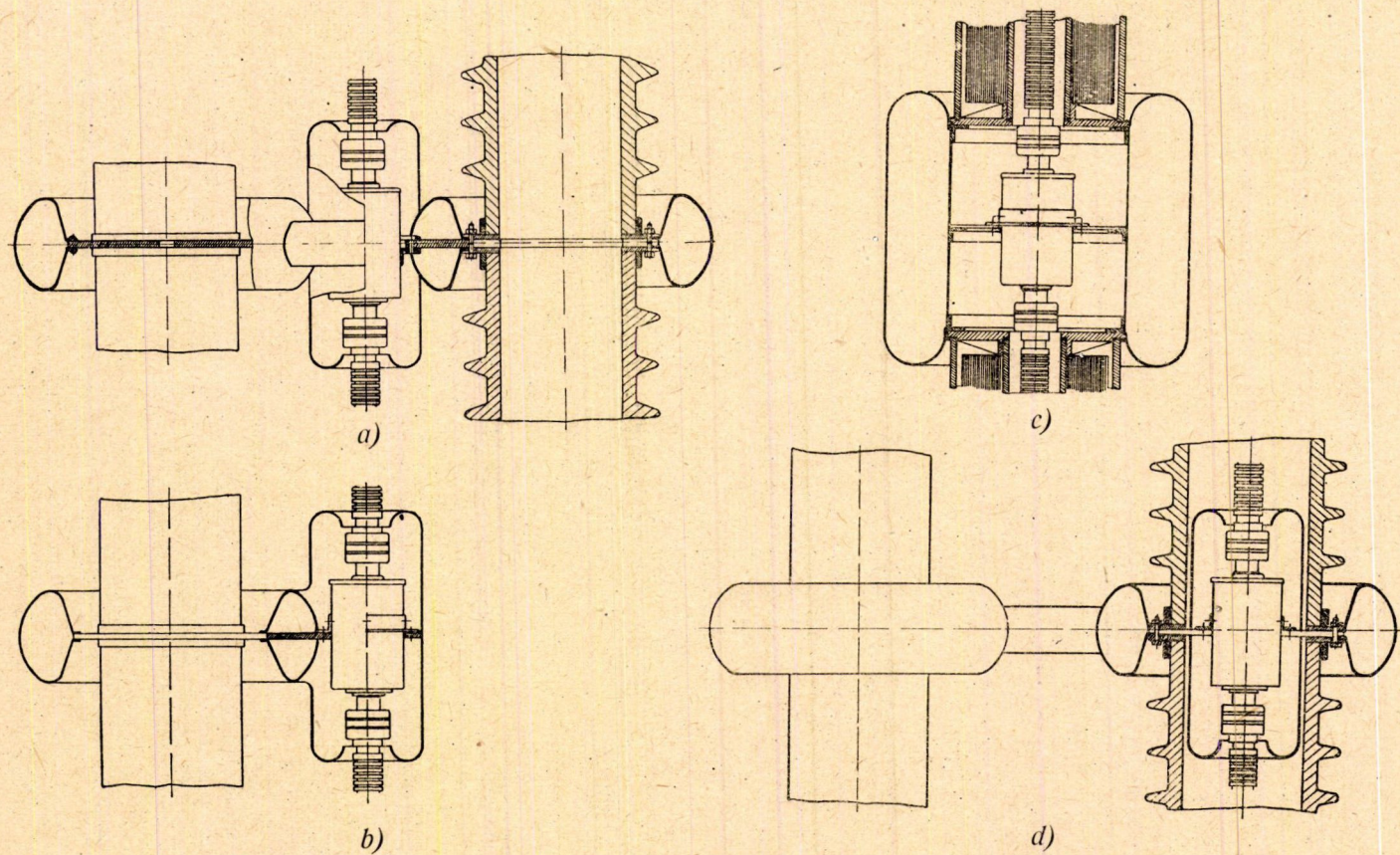
Az irodalomban leírt kaszkádgenerátorok elsősorban a nagyfeszültségű tér kialakításában, másodsorban a csövek fűtésének megoldásában különböznek egymástól. Ma már majdnem kizárólag a Philips gyár által bevezetett felső védő elektródás kivitel használatos a külön befejező elektródával szemben. Ez utóbbi megoldás jóval kisebb építési magasságot ad, az előbbi azonban sokkal homogénebb teret szolgáltat. Kisebb feszültségeknél ez utóbbi mutatkozik előnyösebbnek.

A ventilcsövek fűtése szigetelt tengellyel meghajtott dinamókkal, vagy a kondenzátor oszlopokon felvitt nagyfrekvenciás teljesítménnyel történhet. A legújabb megoldásnál a szárazegyenirányítók alkalmazásával ez a probléma teljesen elesik.

Műszakilag legegyszerűbben a dinamókkal való fűtés valósítható meg. Az Osztályon elkészült ugyan újabb egy nagyfrekvenciás fűtéssel dolgozó 600 kV-os kaszkádgenerátor is; az ezzel kapcsolatban szerzett tapasztalatainkról azonban majd másutt számolunk be.

A dinamók szerelése és a szigetelő tengelyek elhelyezése a 7. ábrán látható módon történhet. A készülék mechanikai stabilitása miatt általában egy fokozatot két-két paralel kapcsolt kondenzátor ad, így az egész berendezés eleve négy oszlopból áll. Ilyenkor a fűtődinamók természetes helye a két oszlop között van. A dinamókhoz könnyen hozzá lehet férni, nem emeli a szerkezet magasságát. Hátránya, hogy viszonylag zajos és a ventilcsöveket közvetlenül rázza. Egyedülálló a Siemens-megoldás. A koncentrikus hengerként kiképezett kondenzátor belsejében felmenő tengely zajtalan üzemű, egyszerű, stabil mechanikai konstrukciót biztosít. A szerkezeti magasságot azonban kissé megemeli, és talán a javítás, vagy csere lehetősége sincs egyszerűen adva. A 7/c konstrukció mechanikai stabilitása nem kielégítő, de igen egyszerű. Szerelése a legömbölyítések kényes helyen való megbontását követeli. A ventilcsöveket rázásra igénybe veszi.

Az általunk választott konstrukció a mechanikai stabilitás, a viszonylag csendes járás, a külön hűtési lehetőség követelményeit kielégíti, de szerelhetőség szempontjából nem mondható szerencsésnek. A dinamók szabályozó berendezése ugyan a legömbölyítések megbolygatása nélkül hozzáférhető, a dinamókon a javítás, a tisztogatás csak a teljes szétszerelés után végezhető. Ez a dinamók garantált hosszú élettartama miatt nem látszik veszélyesnek, minthogy az évenkénti teljes szétszerelés úgyis tervbe van véve. Ez eddig (kb. másfél éves üzemi idő) elégnek is bizonyult. Ha szükségesnek látszik, minden különösebb nehézség nélkül át lehet építeni a 3/a típusúra, amelyet az eddigi tapasztalatok szerint a legjobbnak tartok.



7. ábra. A fűtő dinamók elhelyezésének különböző megoldásai.
(Az általunk épített berendezésnél a „d” megoldás nyert alkalmazást.)

Az elektromos tér számítása csak meglehetősen durva, különböző oldalról történő megközelítéssel lehetséges. Az így kiadódó méreteket egy fokozat felépítésével kísérletileg ellenőriztük.

A generátor egyetlen fokozatának feszültségét 1640 M Ω értékű, olajban elhelyezett 250 kV-ig használható Ingelen-gyártmányú műszer ellenállással mérjük. Ennek hitelesítését 15, illetve 75 cm átmérőjű gömbszikraközzel végeztük közvetlenül a mérési feszültség tartományában, miután részleteiben kisebb feszültségnél hitelesítettük. Ellenőrzésül a primer oldal feszültség és gerjesztő árama, valamint egy, az egész generátor feszültségét mérő, kisebb feszültségen az ellenállásos feszültség-mérővel közvetlenül összehitelesített rotációs voltmérő szolgál.

A feszültségmérés pontossága 2–3%. Egyelőre nem is törekszünk ennél pontosabb értékek megvalósítására.

A gyorsító berendezés

A felső elektróda három tartóoszlopa között foglal helyet maga a gyorsító cső a 8. ábra szerinti elrendezésben. A tartó oszlopok egyikében egy eredetileg mérőellenállásnak szánt ellenállás a felső elektróda földelését biztosítja. A második oszlopban a szabályozást végző selyem zsinórok vannak. A harmadik oszlop pedig a felső elektróda energia ellátására szolgáló dinamó hajtószalagját foglalja magában. Ez a szigetelő szalag igen hajlamos arra, hogy mint öngerjesztő Van de Graaff generátor működjék. Ezáltal a felső elektróda a kaszkádgenerátor tápláló feszültségének kikapcsolása esetén is komoly — néhány száz kV-nagyságú feszültségre tehet szert, ami tekintettel a kondenzátorokra, komoly üzemi balesethez is vezethet, ha meggátlására kellő gondot nem fordítunk.

A gyorsító cső evakuálására 1500 l sec szívósebességű olajdiffúziós pumpa szolgál, természetesen mindennemű kifagyasztó nélkül. Ennek megfelelően azonban a gyorsító cső belseje hosszabb üzem után olaj-bevonatot kap.

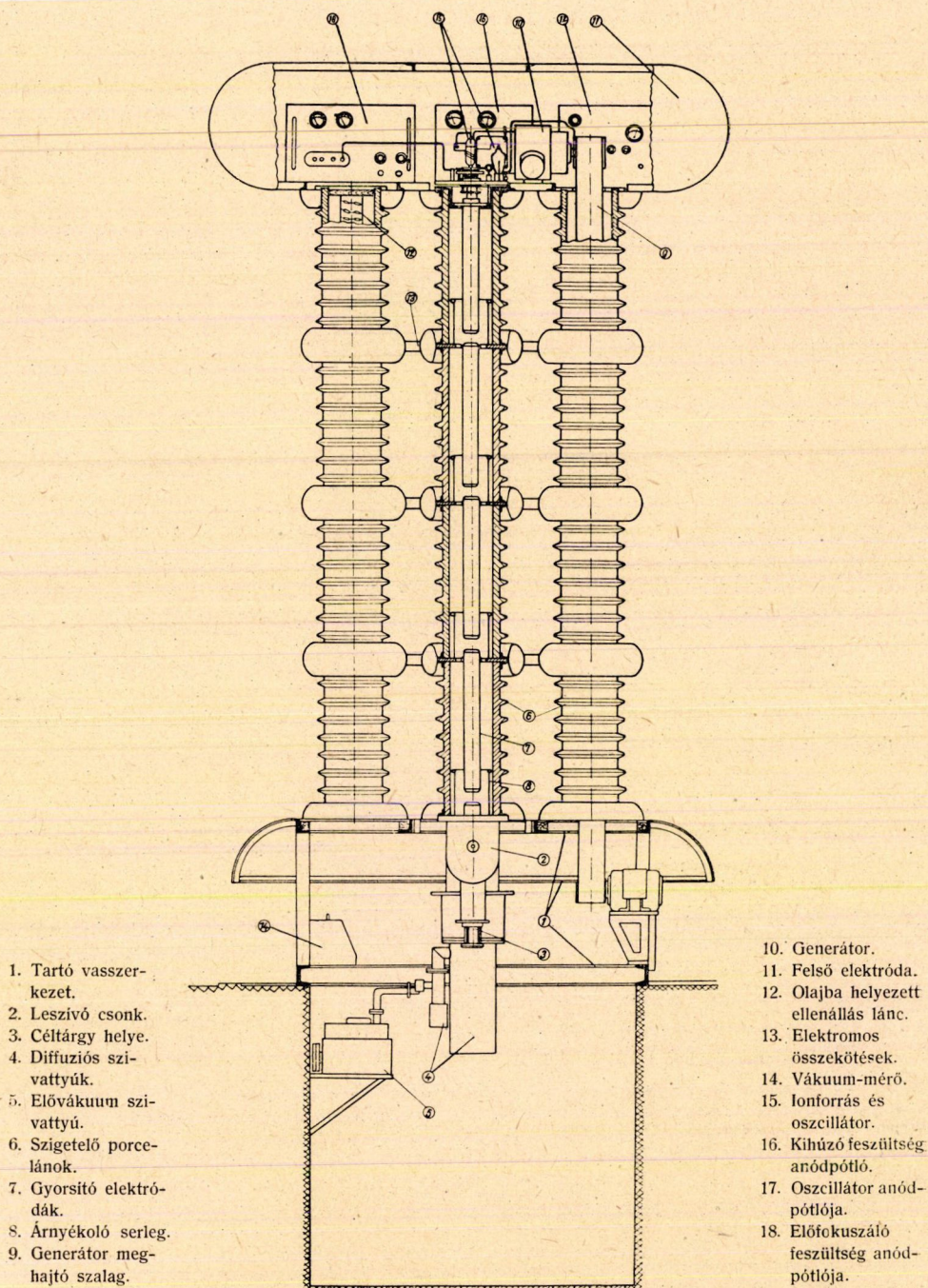
A fókuszálási problémák csak a leggondosabb szereléssel voltak megvalósíthatók. A 9. ábra szerint az elektróda tartó lemez külön beerősítése látszott célszerűnek. Ugyancsak fontos az egyes elektródák tengelyirányú elmozdíthatósága és billenthetősége.

Ionforrásul a nagyfrekvenciás ionforrást választottuk kis energia szórása és nagy atomion tartalma miatt. (10. ábra.)

Az elért maximális target áram 300 μ A volt, 600 kV feszültségen üzemszerűen 100–200 μ A érték valósítható meg.

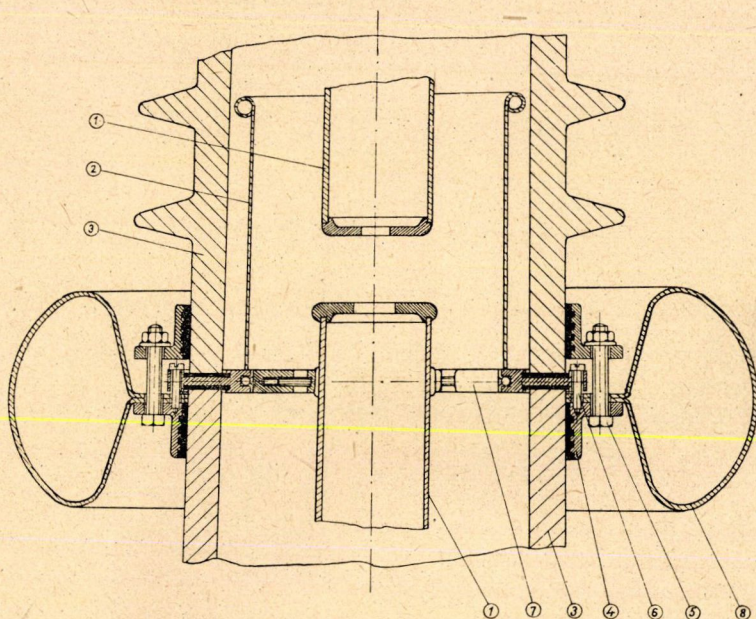
A 11. ábrán a nagyfrekvenciás kaszkádgenerátort is bemutatjuk, erről részletesen azonban itt nem beszélünk.

Az osztály minden nagyobb berendezésének tervezésénél részletes előzetes vizsgálatokat végeztünk az ionforrás optimális viszonyainak megállapítására, a vakuumátütés mechanizmusának tisztázására, stb.



8. ábra. A gyorsító rész felépítése.

A nagy tankgenerátor konstrukciója a 12. ábrán, fényképe a 13. ábrán látható. Lényegében az alsó rész kialakításától eltekintve az MIT ismert konstrukcióját követi. Itt csak egyetlen részletkérdésre szeretnék kitérni: általában az elektródák és a tartály fala közötti tér homogenizálására közbeeső elektródákat szokás tenni és még ma is cikkek jelennek meg arról, hogyan és hány közbeeső elektródával lehet a homogén teret legjobban megvalósítani. Én ezt az irányt két okból is elhibázottnak tartom: először is a belső elektróda min-



- | | | | |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. Gyorsító elektródák. | 3. Porcelán szigetelő. | 5. Összekötő csavar. | 7. Gömbcsuklós állító csavar. |
| 2. Árnyékoló serleg. | 4. Összekötő gyűrű. | 6. Közgűrű rögzítő csavar. | 8. Árnyékoló test. |

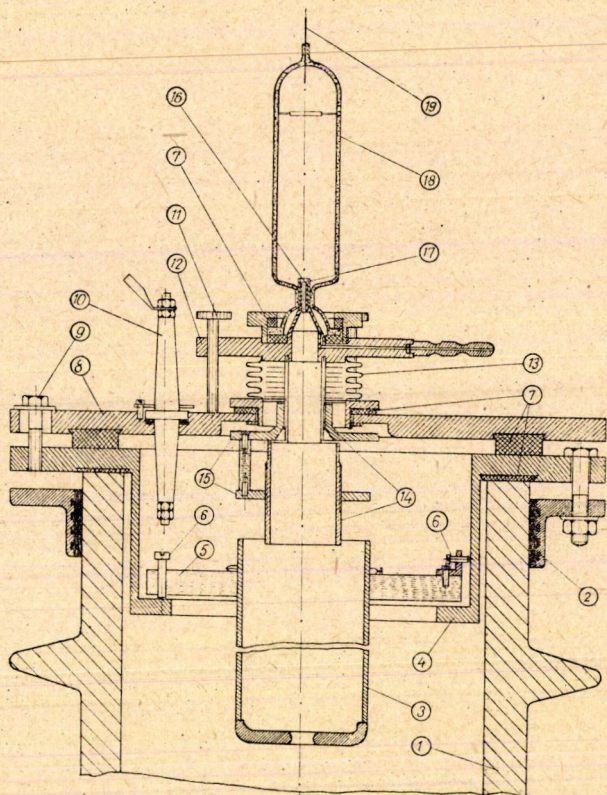
9. ábra. A gyorsítást és fókuszálást végző egyik elektromos lencse kialakítása.

denképpen nagyobb térerőt bír ki, minthogy annak teljes simasága technológiailag könnyen biztosítható, másodsor a feszültséget nem az elektródák közötti átütés határolja, hanem a szalagon vagy a tartó oszlopokon való át-kúszás. Ha az átütés az elektródák között következik be, a nyomásnak még ésszerű határok közötti növelésével a töltő gáz átütési szilárdsága úgy megnövelhető, hogy a maximális feszültséget végül is a kúszó út szabja meg. Legcélszerűbbnek a 15–20 kg/cm² üzemi nyomású N₂ + SF₆ töltésű *egyetlen* elektródából álló generátor típust látom.

A generátoron 0,5 mA rövidzárási áramot és 4,4 MV maximális feszültséget mértünk. (14. ábra.)

Szeretném hangsúlyozni, hogy a készüléknek csak a feszültségforrás része készült el, a gyorsító cső kikísérletezése és beépítése még hátra van.

Végezetül szeretném megemlíteni, hogy az Atomfizikai Osztály a készüléképítés időszaka alatt igyekezett elsajátítani mindazokat az ismereteket, amelyek ezen készülékek felhasználásához a magfizikai vizsgálatoknál szükségesek. Ugyanakkor a jövő kutatók képzéséhez nyújt segítséget a 15. ábrán



- | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Porcelán szigetelő. | 7. Vákuum tömítő gyűrűk. | 14. Előfokuszáló lencse hengerei. |
| 2. Összekötő gyűrű. | 8. Fedőlap. | 15. Hengereket tartó tárcsák. |
| 3. Első gyorsító elektróda. | 9. Fedőlap rögzítő csavar. | 16. Ionforrás kiszívó csúcs. |
| 4. Tartó serleg. | 10. Nagyfeszültségű bevezetők. | 17. Kvarc-csővecske. |
| 5. Elektróda tartó lap (plexiből). | 11. Ionforrás állító csavar. | 18. Ionforrás. |
| 6. Elektróda állító csavarok. | 12. Ionforrás tartó lemez. | 19. Wolfram elektróda. |
| | 13. Tombak csőmembrán. | |

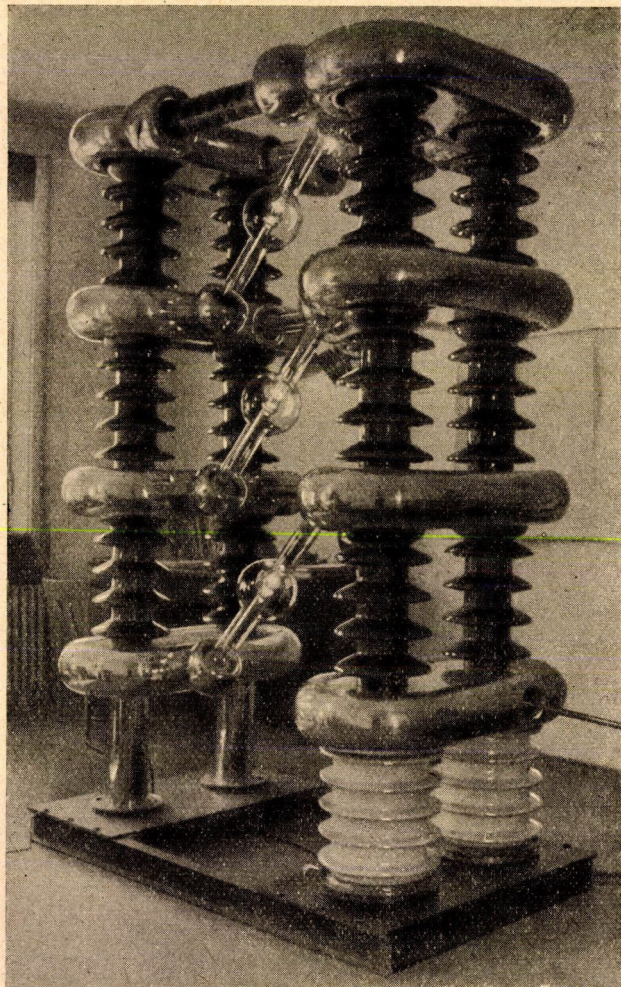
10. ábra. Az ionforrás és előfokuszáló rendszer szerkezeti rajza.

látható 700 kV-os szabadtéri elektrongyorsítóval, amelyet a Műegyetemi Elméleti Villamosság-tanszéke állított üzembe kizárólag hallgatói mérések céljára.

Végül köszönetemet szeretném kifejezni azoknak, akik közreműködtek az itt bemutatott készülékek létrejöttében. ERŐ JÁNOS és SCHMIDT GYÖRGY az első gyorsítási kísérleteknél segédkeztek. ERŐ JÁNOS kísérletezte ki az ionforrást. MÉREY IMRE a kaszkádgenerátor tervezésében, kivitelezésében, PÁSZTOR ENDRE, ROOSZ JÓZSEF, SIEGLER JÁNOSNÉ a gyorsító megvalósításában, KOSZTKA

PÁL a tankgenerátor felépítésében és mérésében vett részt, KÁLMÁN GÁBOR és VARGA LÁSZLÓ tervezte a 600 kV-os nagyfrekvenciás fűtésű generátort.

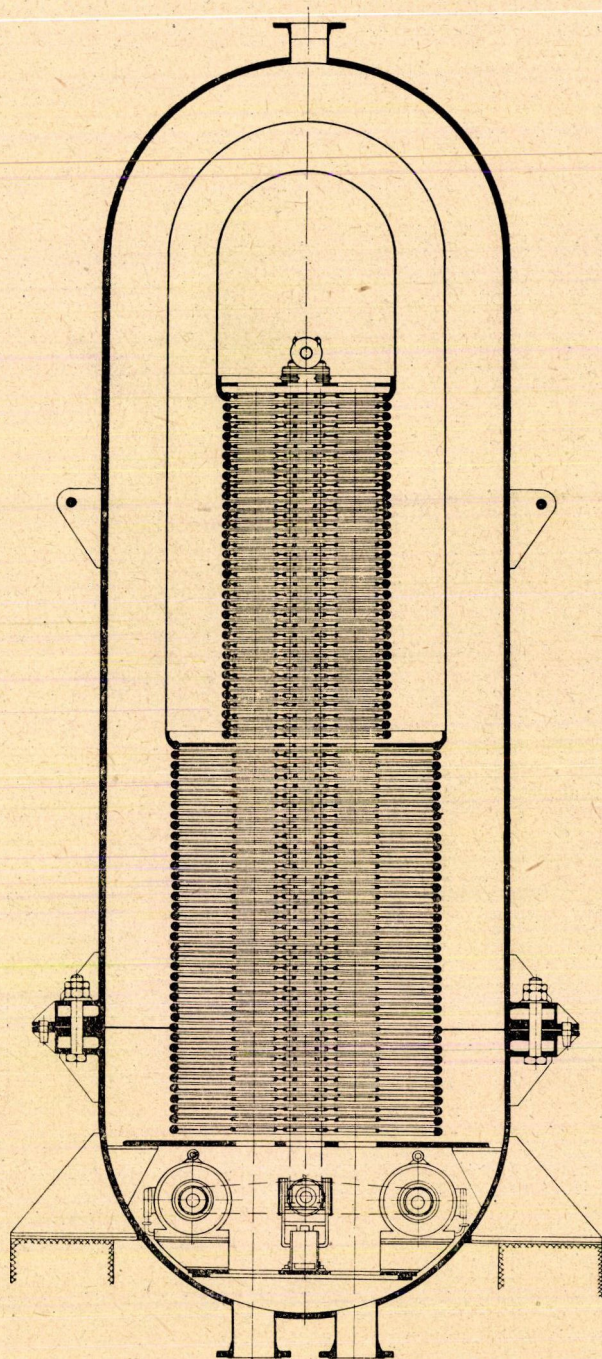
Külső munkatársak közül VARGA G. tervezte meg háború előtt az első magyar kaszkádgenerátort: az átalakító és transzformátor az ő generátorából



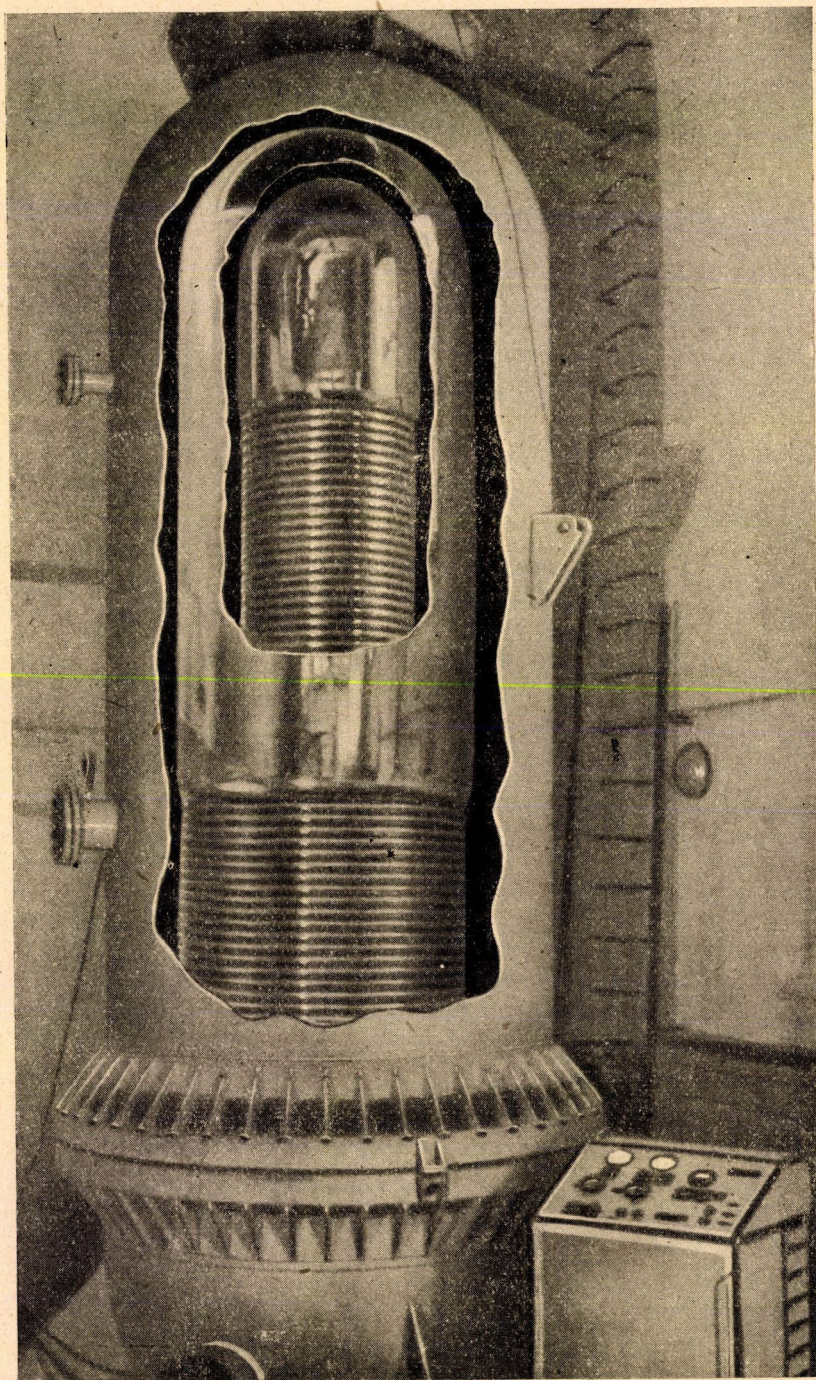
11. ábra. A KFKI Atomfizikai Osztályán épülő 600 kV-os gyorsító berendezéshez tartozó nagyfrekvenciás fűtésű kaszkád generátor fényképe.

való. LENGYEL főmérnök a Wilhelm Pieck gyár hídosztályán a tartályt, MARTON főmérnök a 4 MV-os készülék tisztítóberendezését készítette. SZALAY professzor intézetével folytatott tapasztalatcsere eredményeképpen szalagkonstrukciónkat javíthattuk meg.

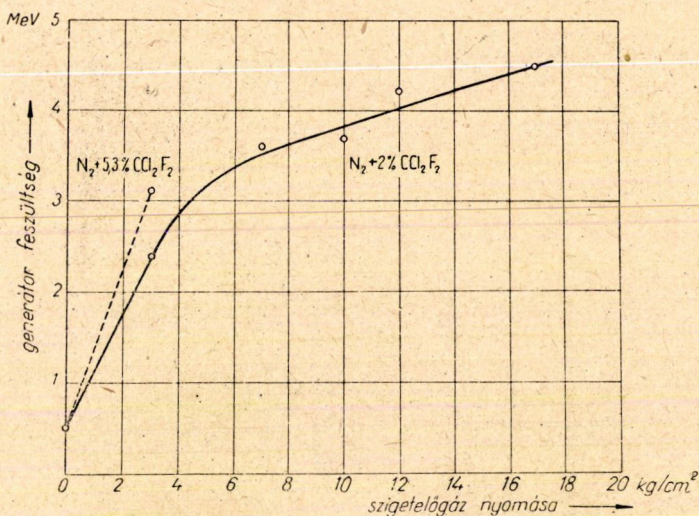
Külön köszönet illeti az Atomfizikai Osztály mechanikai és gyengeáramú műhelyét a készülékek kivitelezéséért.



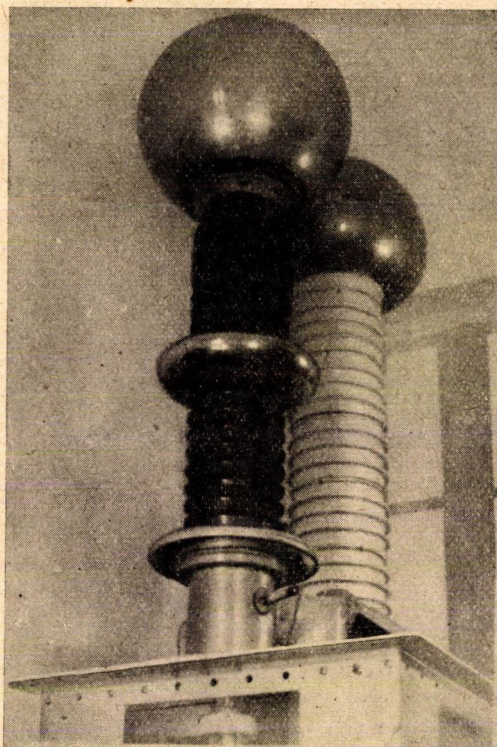
12. ábra. 4 millió voltos nyomás alatti Van de Graaff generátor szerkezeti rajza.



13. ábra. 4 millió voltos nyomás alatti Van de Graaff generátor fényképe (fotomontage).



14. ábra. A 4 millió voltos generátorral elérhető maximális feszültség és a szigetelő gáz nyomása közötti összefüggés.



15. ábra. A Műszaki Egyetem Elméleti Villamosságtan Tanszékén összeállított és a hallgatók oktatását szolgáló Van de Graaff generátor a hozzátartozó elektron gyorsítócsővel.