

ELEKTRON- ÉS FOTONSZÁMLÁLÁS SOKSZOROZÁSSAL

BUDINCSEVITS ANDOR*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1979. július 5-én]

A szerző tudománytörténeti áttekintést nyújt az 1930–1950 között végzett termikus és szekunder elektronemissziós elektroncsövekkel és elektronsokszorozókkal végzett kutatásokról, és azok nem publikált eredményeiről. Továbbá leírást ad a kis sebességű termikus és fotoelektronoknak sokszorozás útján történő számlálására irányuló kísérletekről. Ismerteti az ötvözet szekunder katódák, mint az Ag—Mg ötvözet dinodák, továbbá a 12 — 14 fokozatú statikus fókuszálású és szétszedhető elektron sokszorozók kifejlesztését. Beszámol a sokszorozókkal történő atomi részecskék, ionok és fotonok számlálási kísérleteiről, valamint szcintillációs mérésekről. Végül elemzi a fény kettős természetének problémáit, beszámol egy gondolat kísérlet megvalósításáról a fotokoincidencia kísérletekről, melynek során, egy véletlen felismeréssel eljutnak 1943-ban az $1 \cdot 10^{-9}$ sec idő felbontásig. Ez a módszer ma is az időspektroszkópia alapját képezi.

I. Bevezetés

A Tungsram Kutató Intézetben 1937-től kezdve egyedi elektronok és fotonok kutatásának igazolásával foglalkoztunk. Mielőtt ennek történetét felidéznők, némi felvilágosítással tartozunk a kornak a természetkutatással szemben tanúsított állásfoglalásáról.

A harmincas évek elején a világgazdaság mélypontja ellenére a vezető izzólámpa és rádiócső gyárak, köztük a Tungsram is, gyors fejlődésnek indultak. Az okok elemzése során a tapasztalatok azt mutatták, hogy rohamos fejlődésük az újabb és újabb felfedezéseknek és találmányoknak köszönhető. Ezek a találmányok olyan kutatások és vizsgálatok nyomán születtek, amelyek célja a természet alapjelenségeinek jobb megismerése volt.

A felismerést követően a Tungsram Izzólámpa és Rádiócső Gyár hazánkban is kutatóintézetet létesített, mely 1930-ban PFEIFER Ignác volt műegyetemi tanár vezetésével kezdte meg működését. Néhány év után azonban kiderült, hogy az üzemi problémák felemésztik a kutatók idejét és energiáját. Ezért 1936-ban az új intézeti igazgató BAY Zoltánnak, a későbbi műegyetemi tanárnak a vezetésével az intézet egy részlegének kutatói munkáját az alap-kutatások felé irányította. A kutatóintézet akkori tudományos atmoszférájában az új találmányok ösztönzően hatottak az egyedi elektronok és fotonok sokszorozás útján történő számlálására kezdeményezett alapvető kísérleteinkre.

A természetnek kevés olyan jelensége van, mely a fizikusok érdeklődését jobban keltene föl, mint az egyes elektronok és fotonok természetének a miben-

* Dr. Budincsebits Andor, 1138 Budapest, Toborzo u. 1.

léte. Az elektronokkal és fotonokkal kapcsolatos akkori ismereteink EINSTEIN [1] fénykvantum elméletére és LANGMUIR-nak [2] az elektronemisszió és izzólámpák vákuumfizikai alapkutatásaira vezethetők vissza.

A természetkutatás elméleti ismereteiből fakadó és a gyakorlatban megvalósult találmányok ekkor már szép példáját mutatták a két törekvés kölcsönhatásának. A mai modern elektroncsövek és fényforrások tökéletes megoldásai ezekből az ismeretekből származnak.

Az 1930-ban meginduló kutatóintézet elektroncsőlaboratóriumát CZUKOR Károly, Eötvös Loránd volt tanársegédje vezette, aki az első világháborút követően megindítója volt a magyar rádiócsőgyártásnak, ugyanő később jó érzékkel a fémgőz eljárason alapuló, bárium katódájú Tungsram rádiócsöveknek szerzett nemzetközi nevet.

Az akkori időkben a vezető rádiócsőgyárak között a gazdaságosabb és nagyobb emissziót adó izzókatódókért elkeseredett szabadalmi harc dúlt. E sorok írója 1930 februárjában kapcsolódott be az elektroncsőlaboratórium munkáiba, amikor a kutatás elsőrendű feladata az volt, hogy a Philips gyárral szemben megvédje a fémgőzkatód eljárást és igazolja, hogy a Tungsram-báriumcsövek technológiája nem azonos az 1923. évi Philips-féle [3] szabadalmi bejelentéssel. Szerző egy kezdő fiatal ember lelkesedésével oldotta meg a rábízott feladatokat, végül is közös erőfeszítéssel elhárultak a vállalatra nehezedő nagyszögű licencterhek. Ekkor egy új világgal, az elektronok világával ismerkedett meg, és végleg lekötötte az érdeklődését az elektronemisszió mélyebb megismerése.

2. Termikus elektronemisszió

Ekkorra már kétségtelenné vált, hogy a termikus elektronemisszió a fémek általános tulajdonsága: RICHARDSON [4] mutatott rá először arra az összefüggésre, amely egyrészt a termikus elektronemisszió, másrészt a fémek között fellépő kontaktuspotenciál, és a fémek fotoelektron kibocsátása között fennáll. Míg a termikus elektronok a kilépésükhöz szükséges energiát a hőenergiájukból nyerik, addig a fotoelektronok azt a fémre eső fényenergiából merítik. A fotoelektronok mozgási energiájára is érvényes a fémből való kilépésre vonatkozó EINSTEIN-féle [1] elmélet, mely szerint

$$1/2mv^2 = h\nu - P,$$

ahol ν a fény rezgésszáma és P az egy elektronra jutó kilépési munkát jelenti. A fény energiakvantuma alakul át elektronenergiává, amelynek egy része arra fordítódik, hogy legyőzze a felületi potenciálgátat és kilépjen a vákuumba; a felesleg az elektron kinetikus energiájában mutatkozik meg.

Az első elektroncső technikában LANGMUIR [5] vizsgálatai nyomán a tiszta volframkatódok jutottak szerephez, amelyek a nagy teljesítményű és nagyfeszültségű adócsöveknél a mai napig is megmaradtak. De 1930-ban még készültek MR3-as tiszta volframkatódos rádiócsövek is. A tiszta volframkatódokból kilépő elektronok sűrűségét RICHARDSON [6] egyenlete írja le:

$$I = AT^2 e^{-\varphi/KT}.$$

Ezek szerint a katódemisszió a telítési áram határáig a hőmérséklettel exponenciálisan nő, a telítési áramtól kezdve már csak az anódfeszültség $3/2$ hatványával növekszik.

LANGMUIR és KINGDON [7] figyelték meg először a tiszta volframfelületen adszorbeált cézium atomoknak azt a hatását, hogy nagymértékben leszállítják az elektronok kilépési munkáját. Azt tapasztalták, hogy az elektronemisszió 690°C -nál maximumot mutat és a kilépési munkája $\varphi = 0,66$ eV-ra csökken, ugyanakkor a tiszta volfram kilépési munkája $\varphi = 4,5$ eV. A céziummal befedett fémfelület áramnövekedése 10^{21} nagyságrenddel volt nagyobb, mint azonos hőmérsékleten a tiszta volfram telítési árama. Azonban az idegen fématomokkal befedett fémek emissziója nem bizonyult tartósnak, a cézium rövid idő után lepusztult a fémfelületről.

Már LANGMUIR és KINGDON [7] azt vették észre, hogy ha a volframot oxidálták és erre az oxidrétegre adszorbeáltatták a céziumot, akkor az emissziós áram még 1000°C -nál is $4,10^3$ -szor volt nagyobb, mint a tiszta volframnál és tartós, stabil elektronemissziót adott. A céziumot később a kisebb tenziójú bárium váltotta fel. Ezeket a katódokat nevezték el fémgőzkatódoknak. Alapvető problémájuk a volfram oxidálásának a technológiája volt. Az oxidálást többféle módon lehet elérni és a szabadalmi ellentétek e körül dúltak.

Tapasztalataink azt mutatták, hogy a legjobb eredmények a $\text{W}_{4,11}$ kék volframoxiddal érhetők el. Az ily módon oxidált volframfonal vákuumban felizzítva elbomlott W-ra és oxigénre. Ha gondoskodtunk arról, hogy ez a művelet báriumgőz atmoszférában történjék, akkor a katódra párolgó báriumgőz atmoszférában báriumoxiddá alakult és kellő vastagságú olyan réteget képezett a volframfelületen, amely már alkalmas volt további aktiválásra. Ugyanis a normál oxidbevonatú katódokat meg kell különböztetni az aktivált oxidkatódoktól. Az eljárás célja a kilépési munka további leszállítása volt. Ez a cél atomos fémbárium rétegnek az oxid felületre való adszorbeálásával, hőkezelésekkel, rápárologtatással — közben áramalatti ionvándorlással — érhető el. Egy jól aktivált fémgőzeljárással készült katódnál egy watt fűtőenergia árán $80 \div 100$ ma emissziósáram nyerhető.

A fenti szabadalmi okok a szerzőt arra késztették, hogy más oxidképző eljárást is kidolgozzon. THEISZ Emil kémikusnak javaslatára — volframfelületre elektrolízissel báriummetavolframát bronzot választottunk le. Azon-

ban ezek a magas oxigéntartalmú vegyületek vákuumban már alacsony hőmérsékleten elhomlanak és a szivattyú elszívja a felszabaduló oxigént, még mielőtt a redukciós pasztillából keletkező fémbáriumgőz érné a katódot. Szükségesnek mutatkozott egy $500 \div 600$ °C-nál meginduló és lassan lezajló báriumredukció létrehozása. A problémát már korábban, 1926-ban WINTER Ernő az úgynevezett olajos pasztillával oldotta meg: Ő báriumoxid és fém-alumíniumport kevert össze és azt 800 °C-on H_2 -ben összesütötte, a kész redukciós terméket paraffinolajban finom porrá őrölte és pasztillákat préselt belőle. A báriumpasztillákat az anód mélyedésébe helyeztük. A felizzításkor meginduló báriumredukció a katódfelületen elbomló metavolframáttal bárium-oxidot képezett, majd további párologtatással aktivált fémgőzkatódot nyertünk.

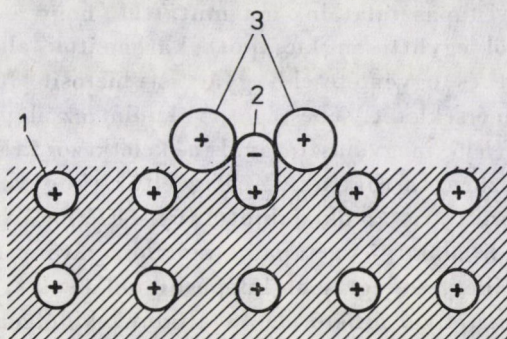
A fémgőzeljárás nehezen kezelhető műveletek sorából állt, a valóságban bonyolult módon végül földalkálioxyd bevonatú ismert WEHNELT [8] katódot nyertünk, amely további hőkezeléssel aktiválható volt. Számos kísérleti megfigyelés eredményeként magas emissziós értéket csak akkor kaptunk, ha kristályos báriumoxid képződött a volframfonal felületen. Mivel a tiszta báriumoxid olvadáspontja közel áll a katód aktiválási hőmérsékletéhez, sokszor előfordult, hogy olvadt üveges báriumoxid képződött, amely elektron-emisszióra alkalmatlanná vált. Mire mindezeket megtanultuk, a fémgőzeljárás, különösen az olajos báriumpasztilla okozta szennyezések és a párologó fémbárium kellemetlen átvezetése miatt, elvesztette korábbi jelentőségét.

A rohamosan fejlődő híradástechnika egyre növekvő teljesítményű és erősítésű elektroncsöveket követelt az ipartól. Végül megszülettek az első indirekt fűtésű, viszonylag nagy felületű oxidkatódok. NATHINGHEM [9] alkalmazta először a bárium-stroncium kettős karbonátokkal bevont és nitrocellulózával kötött katódokat, amelyek vákuumban termikusan elbontva CO_2 gáz leadása mellett kristályos Ba—SrO-ra bomlottak. A báriumoxid megolvadását a magasabb op-tu stronciumoxid gátolta meg, és így könnyen aktiválható oxidkatódot nyerhettünk. A Ba—SrO katódák hamarosan elterjedtek. Ezekre már nem kellett fémbáriumot párologtatni, az aktiválás folyamán a bárium magából az oxidból izzítás útján redukálódott. A vákuum megjavítására e sorok szerzője 1932-ben már bárium-alumínium ötvözetet készített, mint getter anyagot. Az találta, hogy az 54% Ba és 46% Al összetétel eutektikumot képez és száraz levegőn jól eltartható. Vákuumban pedig felizzítva $600 \div 700$ °C-on fémbáriumot adott le, és mint getter anyag mind a mai napig megmaradt.

KINGDON [10] mutatott rá először arra, hogy a kilépési munkát a kialakuló dipólus réteg módosítja, ha a fémfelületen közvetlen helyezkedik el. Az elektropozitív atomok növelik, az elektronegatív atomok — mint pl. az oxigén — csökkentik a kilépési munkát.

Időközben J. H. DE BOER [12] kísérletileg igazolta, hogy az oxidkatód rendszereknél szükséges az alapfémen elektronegatív réteg jelenléte. Az akti-

válás után az oxid felületen földalkáli fémek atomos rétegének adszorpciója mutatható ki. Az ilyen sorrendben elrendezett katódból az elektronok már át tudnak jutni az alapfémről az oxidrétegen keresztül a kis kilépési munkájú atomokba, amelyekből a fenti hőmérsékleten a vákuumtérbe emittálódnak. E réteg rendszereknek minden esetben a következő sorrendet kell követniök: $W-O-Cs$, $W-O-Ba$ vagy $Ni-O-Ba$. Az oxigén minden esetben a magfém felületen dipólusként helyezkedik el, mint az az 1. ábrán látható.



1. ábra. Fémfelületen dipólusként elhelyezkedő oxigén atom

Az elektronemisszió elméleti hátterét azok a kvantummechanikai számítások igazolták, melyeket TAMM és BLOHINCEV majd WIGNER és BARDEN végeztek el. Számításaikban jó egyezést kaptak azzal az összefüggéssel, miszerint a fémek szabad elektronjai viszonylag alacsony hőmérsékleten át tudnak jutni a potenciálgáton azoknál a fémeknél, amelyek kristályrács konstansa nagy, kilépési munkájuk pedig kicsiny. Példa erre a cézium, ahol $d = 6,05 \text{ \AA}$ és a kilépési munka $\varphi = 1,9 \text{ eV}$, a volframnál pedig $d = 3,16 \text{ \AA}$ és a kilépési munka $\varphi = 4,5 \text{ eV}$. Ezt utólag a mérések is igazolták. Tehát a földalkáli fémekben levő szabad elektronok nem túl magas hőmérsékleten, 650°C -on saját hőenergiájuk ellenében átjutnak a potenciálgáton, miközben energiát veszítve lehűlnek.

H. BRÜCHE [13] kimutatta elektronmikroszkóppal, hogy az izzó oxidkatódok leképezett képén az egyes kristálysíkok különböző módon emittálnak, azaz különböző kilépési munkával bírnak. Ez a megállapítása sugallta később a szerzőnek a földalkáloxidokkal bevont izzókatódok további tökéletesítését, feltételezve nagyobb emisszióképes kristály struktúrok létezését.

Egyidejűleg jutottak ehhez a gondolathoz ARNOLD [14] a Western Elec. Comp.-nál és SPANNER [15] is, akik egymástól függetlenül megfigyelték, hogy a bárium-stroncium-calciumoxidok megfelelő arányú keverésével az elektronemisszió további fokozása lehetséges annak ellenére, hogy az egyes komponensek kilépési munkája magasabb a végső aktivált értéknél.

SPANNER a következő összetételben: 600 mol CaO + 10 mol BaO + 5 mol SrO katódokon a következő kilépési munkát kapta:

BaO kilépési munkája $\varphi = 0,99$ eV

SrO kilépési munkája $\varphi = 1,27$ eV

CaO kilépési munkája $\varphi = 1,71$ eV

Együttesen aktiválva $\varphi = 1,12$ eV, ami már igen jó eredménynek számított.

Saját gyártási tapasztalataink azt mutatták, hogy a kevert karbonátok helyett az oldathól együttesen kicsapott karbonátok alkalmazása további emissziönövekedést és egyenletesebb gyártást biztosít [16], mert elő lehet írni a kicsapás hőmérsékletét, sebességét, valamint az alapanyagok tisztasági fokát. Ezek megfelelő megválasztásával a keletkező kristályok alakját és nagyságát már kézben tarthattuk. Megfigyeltük, hogy az elektronemisszió nagysága a keletkezett kristályok alakjától függ. Elérhető volt, hogy kevesebb tűkristály és gömb alakú összetapadt konglomerátum képződjék. A legnagyobb emisszió, illetve a legkisebb kilépési munka sok szabályos kis, különálló hexagonális kristállyal érhető el. Az általunk kidolgozott finomszemcsés kicsapási módszerrel elmaradt a katódmassza őrlése, a szemcsék mérete pedig $0,2 \div 1,5 \mu\text{m}$ között változott. A javulás a 2—1—2 mol aránynál volt optimálisan észlelhető, amikor az összetétel 2 mol BaCO_3 + 1 mol SrCO_3 + 2 mol CaCO_3 elegykristályból állt. Az ebből készült oxidkatód könnyen aktiválódott és sok egyedi kristályból álló struktúrát mutatott.

A PATAI és TOMASCHEK [17] által kezdeményezett kolloidkatód eljárás nem hozta meg a várt emissziós eredményeket. A nagy simaságú és tömörségű kolloid-báriumhidrokarbonát bevonatokkal nem lehetett megfelelő kristálystruktúrát elérni. Mi a finom szemcsés karbonát kicsapási eljárást megtartva, a kataforézist vettük át, és nagy tömörségű katódokat készítettünk megfelelő kristálystruktúrával. További eredményt a kataforézis jelentett, amelyet először alkalmaztunk katódkarbonátok és Al_2O_3 felvitelénél fűtőtesteknél. A kataforetikus szuszpenzióhoz hordozó közegnek az izobutylalkohol bizonyult a kedvezőbbnek, mert molekuláinak viszonylag nagy elektromos szabad töltéséhez hozzátapadtak a finom karbonátszemcsék, amelyek elektromos töltésük folytán lebegésben tartották, illetve nem ülepedtek. A kataforézisnél az alkalmazott potenciál hatására a karbonátkristályok a negatív pólusú katódmagfém felületre vándoroltak. A különböző katódbevonási eljárások közül a kataforézis bizonyult emissziós szempontból a kedvezőbbnek, mert a finom kristályszerkezetet tartalmazó szuszpenzióból csak a kis kristályok váltak le, míg a szennyezések és durva szemcsék az izobutylalkoholban visszamaradtak. A kataforetikus technológiával készült katódok kilépési munkája elérte a $\varphi = 0,99$ eV értéket és a félfűtőáramú teleses rádiócsövek katódjait alkották. Ezek a teleses csövek 200 milliwatt fűtőteltjesítmény

mellett kb. 30 ma telítési áramot adtak és őket csak a tranzisztorok tudták kiszorítani. A telepes csöveket speciális berendezésekben neutron érzéketlenségük miatt ma is alkalmazzák.

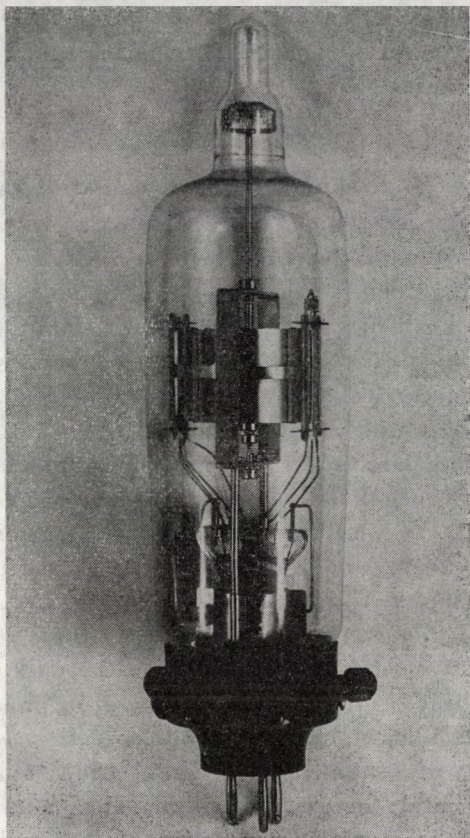
3. Szekunder elektronemisszió

A rádiócsövek és a híradástechnika gyors fejlődése, a nagyobb erősítés igénye már nemcsak az elektronemisszió problémáit vetették fel, hanem az elektronok működés közbeni viselkedésének vizsgálatát is szükségessé tették. A harmincas évek elején csak triódákat és tetródákat gyártottunk. 1932-ben jelentek meg a világpiacon az első Telefunken [18] pentodák, melyek $20 \div 30$ -szor nagyobb erősítést adtak, mint a tetródák.

A pentodák vizsgálata során rájöttünk, hogy az anód előtt levő katód-potenciálú fékezőrács megakadályozza az anód szekunder emisszióját. Megállapítható volt, hogy az oxidkatódból állandóan bárium szabadul fel, ami mind a rácsoakra, mind az anódra rakódik le, eközben az anód és a rácso felületén a kilépési munka nagymértékben lecsökken. Az ilyen báriummal bevont felületbe becsapódó primer elektronok több kis sebességű másodlagos szekunder elektront váltanak ki, amelyeket a második pozitív rács gyorsít fel és egy ellenkező irányú áramot hoz létre, ami levonódik a vezérelt anód-áramból és nagymértékben csökkenti a rádiócsövek erősítését. Ismét szabaddalmi akadályokba ütköztünk: hogy a pentodaszabadalmat elkerüljük, WINTER Ernő javaslatára a fékezőrácsot magában a csőben egymegohmos ellenálláson keresztül a katódhoz kötöttük. A Telefunken-ék a fékezőrács szükségét a szabaddalmi leírásban a cső belső ellenállásának növelésével indokolták. Saját bejelentésünkben viszont leírtuk, hogy mi ezt a szekunder elektronok kilépésének megakadályozására alkalmazzuk, és ezzel hozzájárultunk a pentoda feltalálásához.

Az erősítés növelésének további módja ezután az volt, hogy a rádiócsöveket meredekebbé tegyük; hogy ezáltal a rácsfeszültség változásra minél nagyobb anódáram változás következzen be. Ennek elérésére a rács meneteinek minél jobban meg kell közelíteniök a katódot. Ha a kis negatív előfeszültségű vezérlőrácsot az erősítendő feszültséggel megfelelően közel visszük a katódhoz, akkor nagyobb emisszióáram vezérlésére lesz képes. A gyakorlatban ez azt jelentette, hogy minél jobban közelíti meg a vezérlőrács a nagyfelületű indirekt fűtésű katódot, annál jobban fog a rács felmelegedni, végül maga a rács a ráarakódott báriumtól katódként kezd emittálni. Ezt a káros rácsemmissziót kellett megakadályozni anélkül, hogy eltávolodnánk a ráccsal a katódtól és csökkentenénk a cső meredekségét.

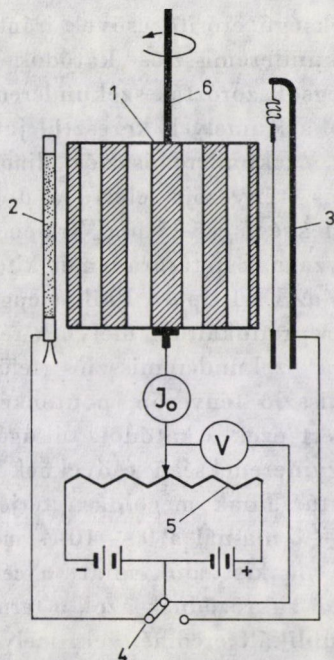
A probléma megoldásához annak felismerése vezetett, hogy a katód és a rács anyaga két különböző fém, melyek között kontaktuspotenciál áll



2. ábra. Forgatható anódú dióda rácsemisszió mérésére

fenn, ami egyenlő a két fémhez tartozó voltokban mért kilépési munka különbségével. Ez módot adott a rácsemisszió mindenkori nagyságának a meghatározására. A kísérletek első fázisában a katódpárolgásnak a mértékét a hőmérséklet függvényében kellett meghatározni és a legkisebbre beállítani anélkül, hogy a telítési áram változnék. Ezután olyan fémeket vagy fémbevonatot kellett találni, amelyen a rácstra párolgó bárium a kilépési munkát csak jelentéktelen mértékben csökkenti. Feltételeztük, hogy van ilyen bevonat. A kísérleteket sokszor inkább az intuitív megsejtés, mintsem az egzakt logikus következtetés irányítja. Most is ez történt: olyan mérési módszert kerestünk, amellyel a rácsemisszió kialakulása követhető.

A 2. ábrán látható az erre a célra tervezett mérőcső. Ez a cső egy forgóhengeres anódból állt, amelynek palástján különféle tiszta fémek és bevont fémek $5 \div 6$ mm széles vizsgálati lemezeit rögzítettük. A forgó anódhengert 800°C -on vákuumban gáztalanítottuk, az oxidkatódot pedig elbontottuk és aktiváltuk. Az aktivált oxidkatóddal szemben 180° -ra egy tiszta és ismert



3. ábra. Kilépési munka mérési vázlata

kilépési munkájú volframkatódot helyeztünk el. Az 1-es hengert kívülről mágnessel elforgatva, felváltva hol a 2-es oxidkatód, hol a 3-as volframkatód került szembe a vizsgálendő fémme. Ezután az oxidkatódból áramkivétel mellett bárium párologott a mintára, közben ismételve meghatároztuk a volframkatódhoz képest a kilépési munkakülönbség változását. A méréshez egy retardáló potenciált használtunk, ugyanis a katód indulóáramát nullává téve, megkapható elektronvoltokban a két kilépési munka különbsége (3. ábra).

A mérések során azt találtuk, hogy az összes számításba jöhető fémek és fémbevonatok közül az arannyal többször bevont és H₂-ben beizzított molibdén az, amely még izzó állapotban is alkalmas a rácsemisszió megszüntetésére [19]. A felismerést követően már megközelíthető volt az aranyozott rácossal a katód. A távolságot csak a zárlat veszélye korlátozta, így is elérhető volt a 25 μm katódrács távolság. Maga az eljárás is alkalmas volt nagytömegű rácsgyártásra.

Ezzel a pentoda körüli vita is megoldódott. A Telefunkenék a rácсарanyozási szabadalmat kicserélték a pentoda-szabadalomra.

Az erősítés növelésének problémája az elektroncső-kutatásnak továbbra is aktuális témája maradt. A rövidhullámú adóállomások elterjedésével a frekvencia növekedését az elektroncsövek nem tudták követni, erősítésük az elektronok véges repülési ideje miatt lecsökkent. Ezért fokozódott az igény

szélessávú és nagymeredekségű erősítő csövek iránt. A Philips kutatói [20] próbálkoztak először szekunderemissziós katódok alkalmazásával. Normál tetrodák meredekségét megsokszorozták szekunderemissziós úton oly módon, hogy a vezérelt elektronokat, amelyek keresztül jutottak a gyorsító rácson, elektronoptikai úton egy szekunderemissziós dinodára irányították, ha a dinoda szekunderemissziós tényezője elérte a $\delta = 5,0$ faktort 200 V-nál, akkor a 3 ma/V alapmeredekségű cső 15 ma/V-ra emelkedett a 8 ma összáram mellett. Ennek az új irányzatnak hatására ismét kiterjedt szekunderemissziós kutatásokat végeztünk, és az EEl típusú Philips nagymeredekségű szekunder-elektron erősítésű csövet reprodukáltuk, melynek részleteiről a továbbiakban számolunk be. Azonban a szekunderemissziós felületek általános tulajdonsága, hogy a szekunderemisszió tényezője pontonként változik és csak átlagérték állapítható meg, ezért ezek a katódok túlságosan zajosak. Tehát ez az útja a szélessávú és nagymeredekségű csöveknek nem vált be. Később a Bell-laboratórium munkatársainak megoldása terjedt el. A feszített keretrácsokkal elérhető volt $5 \div 8$ ma-nál a $9 \div 10$ -es meredekség, bár gyártásuk nagy precizitást igényelt, de kis zajuk miatt a célnak jobban megfeleltek.

E rövid áttekintésben tükröződnek azok a termikus és szekunderemissziós kísérletek és nem publikált eredmények, melyeket 1930 és 1937 között végeztünk. A szerzett ismeretek sokban hozzájárultak az új kutatási irányzat követéséhez, mely 1937-ben megindult az egyedi elektronok és fotonok megismerésére, valamint elektronsokszorozók kifejlesztésére. Az eredmények később igazolták, hogy miért kell egy ipari kutatóintézetnek alapkutatással, azaz magasabb szinten műszaki kultúrával rendelkezni.

4. Elektronok sokszorozása

Szekunderemissziós fotoerősítők terén az első gyakorlati eredményeket 1936-ban V. K. ZWORYKIN [21] érte el azzal, hogy szekunder elektronokat elektronoptikai úton egy következő szekunder katódra fókuszálta. Ezzel a módszerrel több fokozaton keresztül az elektronok sokszorozását érte el. A kísérletileg mért sokszorozási tényező a fotoáram erősítésének a δ^n -szeresét érte el. E módszer a képfeltevő csőnek a fotoérzékenységet az egyszerű fotocellákéhoz képest a 200-szorosára növelte, és nagy lépéssel vitte előre a televíziózás kérdését.

Rövid idővel ezután ZWORYKIN [22] megszerkesztette az első fotoérzékeny elektronsokszorozót, amely 9 fokozatból állt és mágneses fókuszálással terelte az elektronokat egy növekvő elektromos térben egyik szekunderkatód-ról a másikra. Az Ag—Cs₂O—Cs rétegű dinodák szekunderemissziós tényezője $\delta = 3 - 4$ elektron, 100 V ütközési sebesség mellett. A 9 fokozatú elektron sokszorozással egymilliószoros áramerősítést ért el.

1937-ben érkezett az első ZWORYKIN által szerkesztett amerikai céziomos elektron sokszorozócső a kutatólaboratóriumunkba. A mérések egyértelműen igazolták a sokszorozó 10^6 -szoros áramerősítését.

BAY Zoltánnak, a Kutató Intézet akkori fiatal igazgatójának támadt az a gondolata, hogy ha az elektron sokszorozócsőnek ilyen nagy erősítése van, akkor ez vákuumban az egyes kis sebességű elektronokat a sokszorozás után kimutatja és ezáltal ezek egyenként megszámlálhatókká válnak. Sőt a tervezés során, tovább fűzve a gondolatot, a fotoeffektus által kiváltott fotoelektronokat megsokszorozva, mód nyílik egyedi fotonok megfigyelésére, ill. számlálására is, mivel az atomok és fénykvantumok közötti kölcsönhatáskor az elnyelt foton egy elektron kiszabadulásával jár. Ezzel EINSTEIN fotonelmélete kísérleti bizonyítást nyerne.

A gondolat atomfizikai alkalmazhatósága szintén biztatónak ígérkezett, mert az akkoriban ismeretes részecskeszámlálók hibái az elektronsokszorozóval elkerülhetők lettek. Ugyanis itt a töltéssokszorozás vákuumban és nem gáztérben megy végbe. A gázionizáció lefolyásának időtartama úgy a proporcionális, mint a Geiger—Müller-számlálócsövek felbontóképességét korlátozza. Különösen döntő jelentőségű ez a koincidencia számlálásnál, mert a felbontásnak alacsony határt szab. Továbbá ismert jelenség volt, hogy a nagyenergiájú atomi részecskék becsapódáskor több kis és nagy sebességű elektront váltanak ki. Ha az ütközés vákuumban történik, akkor a kis sebességű elektronok befókuszálhatók az elektronsokszorozó elektronoptikai rendszerébe és sokszorozás után felerősítve, áramimpulzusok formájában észlelhetőkké válnak.

Első megítélésre a felbontóképesség három-négy nagyságrenddel növelhetőnek tűnt azzal, hogy a sokszorozás vákuumban és nem gáztérben történik. Felülmúlva minden eddigi számlálási módszert, lehetőség adódik egy nagy felbontóképességű új részecskeszámláló eszköz kifejlesztésére.

A korai magfizikai kutatásoknál használatos volt a részecskeszámlálásnak még egy fáradságos módja. RUTHERFORD e módszerrel jutott el az atommag felfedezéséhez. Ha nagy energiájú atomi részecskék ütköznek fluoreszkáló anyagba, akkor szcintillációkat, ill. fényfelvillanásokat váltanak ki. A jelenség azonban igen fényszegény, ezért szabad szemmel csak sötétben erős nagyításnál voltak megfigyelhetők. Később a Geiger—Müller-számlálócsövek felfedezésével a magfizika területéről hamarosan kiszorultak a szcintillációs mérések. Nyilvánvaló volt, hogy a rendkívül fényérzékeny fotonszámláló sokszorozócsővel a fényfelvillanások a nagy erősítés folytán áramimpulzusok formájában könnyen kimutathatók. A nagy felbontóképességű sokszorozók kombinálva a szcintillációval, az atommagkutatásnak ismét jelentős mérőeszköze lehet.

A felvetett korai gondolatok igen termékenynek bizonyultak, és elindító lettek egy sor kísérletnek, amelyek több meglepő eredményre vezettek.

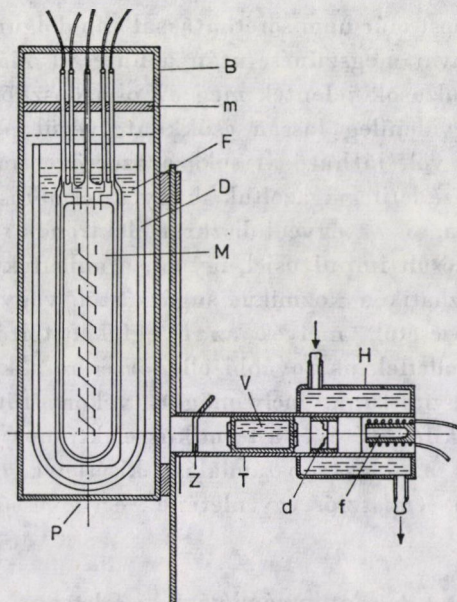
5. Elektronszámlálási kísérletek

Egyedi elektronok kimutatása és számlálása során az első nehézség, mellyel szembetaláltuk magunkat, a céziumos sokszorozók szobahőmérsékleten mutatkozó termikus emissziója volt. Az irodalomból már ismert $\text{Ag}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$ -rétegű fotokatód kilépési munkája $\varphi = 0,75$ eV, valamint a Richardson-állandója $A = 9,8 \cdot 10^{-2}$ amp/cm²grad². E két adatból kiszámítható, hogy szobahőmérsékleten a céziumos fotokatód kb. cm²-ként $N = 10^{10}$ sec⁻¹ elektront bocsát ki. Ezek az elektronok a sokszorozás után $17 \mu\text{A}$ nagyságú áramlökést adnak. Ez a felerősített és statisztikusan ingadozó zaj-áram sokszorosán felülmúlja és elfedi az egy elektron sokszorozásából származó amplitúdót.

Nem maradt más hátra, mint az egész sokszorozócsövet lehűteni a folyékony nitrogén hőmérsékletére. Az ismert összefüggés szerint 120 °K-nél a termikusan emittált elektronok száma már $6,7 \cdot 10^{-10}$ sec⁻¹ elektronra csökken, ez kb. évszázadonként egy elektront jelent. Tehát a termikusan emittált elektronok száma ezen az alacsony hőmérsékleten már elhanyagolható és egyes elektronok kimutathatók.

A kísérletek első szakaszában a lehűtéssel együtt járó párásodás a sokszorozócső működéséhez szükséges 1000 V feszültség következtében kisülés-szerű átvezetésekhez vezetett. A katód és a kollektor között az üvegburán folyó kúszóáramok szikrázásszerű áramlökéseket okoznak, amelyek nagyobbak a mérendő áramimpulzusoknál. Ez a körülmény a méréseket lehetetlenné tette. Hogy a szigetelő ellenállás kellő nagysága biztosítható legyen, 10^{15} ohm/cm — az egész sokszorozócsövet egy üvegburában helyeztük el, hosszú áramkivezető száakkal és száraz nitrogénnel töltöttük meg, ezután merítettük a folyékony nitrogénbe, a meghosszabbított áramkivezető száak kivételével.

A kísérleteket oly sokszor követő balszerencse most sem maradt el. A szerelés közben az amerikai eredetű sokszorozócső megrepedt, a vákuuma leromlott, használni többé nem lehetett. E sorok írója akkor kapcsolódott be az elektron- és foton-számlálási kísérletekbe, amikor BAY Zoltán feltette azt a kérdést, hogy tudna-e az elektroncsőlaboratórium ilyen nagy fotoérzékeny mágneses fókuszálású elektronsokszorozót készíteni. — Az az érdeklődés, amellyel e sorok szerzője a fény természetének kísérleti kutatásával foglalkozó munkákat követte, most gyors cselekvésre ösztönözte. A korábbi szekunder-emissziós tapasztalatok sokban hozzájárultak ahhoz, hogy irányításával rövid idő múltán elkészültek az első Magyarországon előállított mágneses fókuszálású elektronsokszorozó. — Az első fényérzékeny céziumos sokszorozócsövek statikus vizsgálatainak után az ábrabeli berendezésben most már a kísérleti próbák következtek. Az új sokszorozócsöveknél nemcsak a külső, hanem a belső átvezetések is zavarólag hatottak. Ezeket a céziumkezelés módosításával sikerült megszüntetni.



4. ábra. Kísérleti berendezés elektron- és fotonszámláláshoz

Ezekután a tervezett kísérleti berendezés hamarosan összeállt; az elrendezést a 4. ábra szemlélteti. A fókuszáló elektromágnes az ábrán nincsen feltüntetve, a sokszorozóső a Dewar-edényben a védőburában a pólusok közé 200 gauss erősségű mágneses térben van és merőleges a rajz síkjára.

A nehézségek ezzel még nem hárultak el. Zavaró volt a téremisszió jelensége, mely alapvetően különbözik a termikus emissziótól. Alacsony hőmérsékleten gyakorlatilag nem lépnek ki a fémekből termikus elektronok, de kiléphetnek kellő magas térerősségnél 10^6 V/cm-nél a potenciálfalon való áthatolás útján. A kilépő elektronok száma annál nagyobb, minél nagyobb a térerősség. A jelenséget hidegemissziónak, a potenciálfal átlátszóságát a hullámmechanikában alagúteffektusnak nevezzük. Ezt csak úgy lehet elkerülni, ha fotokatódon és a következő dinodán a feszültséget oly mértékben csökkentjük, hogy a szekunderemissziós tényező egynél nagyobb legyen, de a téremisszió még ne okozzon zavart.

Ha ezután a sokszorozót szobahőmérsékleten bekapcsoljuk, a cézium termikus emissziója következtében a sokszorozót követő erősítő anód ellenállásán viszonylag nagy egyenáram folyik keresztül. Mivel az erősítő az egyenáramú komponenst nem viszi át, az oszcilloszkópernyőjén csupán az ismert söréthatás látható. A söréthatásnál az áramingadozások mindkét irányúak, tehát a katódsugárcső időtengelyétől fel- és lefelé egyaránt impulzusok észlelhetők. A folyékony nitrogénnel való hűtés folyamán elérkezhetünk egy olyan hőmérsékleti határhoz, ahol az impulzusok mind egyirányúakká válnak,

jelül annak, hogy most már nem söréthatással van dolgunk. Szerző egy napon késő este minden zavar megszűnése után a hűtéssel odáig jutott, hogy már csak egyirányú impulzusok jelentek meg az oszcilloszkóp ernyőjén. Számuk a hőmérséklettel egyidejűleg lassan csökkent, végül percenként már csak két-három impulzus volt látható. A sokszorozócsövet minden fénytől elzártuk. Ezzel először kísérletileg igazoltuk, hogy a termikus emisszió — de bármiféle elektromos áram is — egyedi diszkrét elektronok sokaságából áll.

Néhány állandósult impulzusjel, így pl. a nulleffektus több okra vezethető vissza: származhatik a kozmikus sugárzástól, vagy a maradékgázok és céziumatomok ütközésétől, melyek az üvegfal feltöltődése következtében gyorsulnak fel. A nulleffektus további ellenőrzésére a katód közepén 1 mm átmérőjű furatot készítettünk, mely mögött vékony fűthető volframfonalat helyeztünk el. Ennek felfűtésével a termikus elektronok kilépése tág határok között változott és az elektronszámlálási kísérletek elvégezhetőek voltak, igazolva RICHARDSON emissziós egyenletének érvényességét.

6. Foton számlálási kísérletek

Ezután következhetek a tényleges foton számlálási kísérletek. A felmerülő probléma a fényforrás kérdése volt. Könnyen belátható, hogy egyedi fotonok kimutatásánál hasonlóan kell eljárunk, mint az egyedi elektronszámlálásnál: csak olyan fényforrás jöhet számításba, amelyből időnként csak egy-egy foton lép ki, hétköznapi szóval: csepegnek belőle a fénykvantumok.

A problémát a 4. ábrán látható (F) feketetest sugárzóval oldottuk meg. Az $\text{Ag}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$ -rétegű fotokatód spektrális érzékenysége $\lambda = 9500 \text{ \AA}$ -ig terjed és a relatív fényérzékenység maximuma $\lambda = 8000 \text{ \AA}$ -nél van. Tehát a feketetest ultravörös fotonjai a céziumos sokszorozóval jól kimutathatók.

A fénytől elzárt sokszorozó üvegballonján és a Dewar-edény ezüstözésén kis ablak biztosította a fotonok bejutását a fotokatódra. A fotonokat a feketetest bocsátotta ki, amelybe egy volfram izzótestet helyeztünk el. A feketetest nyílásán (f) keresztül fotonok lépnek ki az ábrabeli (D) diafragmán és a (V) vízszűrőn keresztül és a (Z) fényzáron át jutnak a fotokatódra. A volfram fűtőtest felfűtésével elérhető, hogy időközönként a kb. $200 \div 300 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű feketetest nyílásán diszkrét egyedi fotonok lépjenek ki. A (H) vízszűrő a káros hosszuhullámú ultravörös sugárzás kiszűrésére szolgál és megakadályozza a (T) tubus felmelegedését.

Ha kinyitottuk a lehűtött sokszorozóberendezés (Z) fényzárát és a feketetest hőmérsékletének változásával elértük, hogy egyes fotonok kilépjenek, akkor a kiváltott elektronok a sokszorozás után, mint különálló impulzusok jelentek meg az oszcilloszkóp ernyőjén. Az impulzusok száma a beejtett fotonok számával volt arányos. A kísérletek során a foton számlálás független

volt a feszültség-ingadozásoktól, egy 300 V-os platón belül. A feszültség-változásokra csak az amplitúdó változott mindaddig, míg a téremisszió fel nem lépett.

A fotonok számát és eloszlását a feketetest sugározta spektrumból a hullámhossz és a hőmérséklet függvényeként a Planck-formulából számítottuk ki. A mérésekből és számításokból a fotonszámláló hatásfokát, az „ A ”-t határoztuk meg:

$$A = 75 \text{ foton/elektron.}$$

Az emberi szem fényérzékenysége alsó határát VAVILOV [23], valamint BARNES és CZERNY [24] állapították meg, egyénenként változó szubjektív módszerrel. Az emberi szem legnagyobb fotonérzékenysége a megfigyelések szerint; $\lambda = 5300 \text{ \AA}$ -nél van, mely maximum a zöld fénynek felel meg, amikor a szem még éppen fényérzetet érez, ekkor a hatásfoka $80 \div 150 \text{ fot/sec}$. Ez az érték RUSSEL-nél [25] 215 fot/sec , BUISSON-nál [26] 350 fot/sec és REEVES-nél [27] 480 fot/sec . Saját fotonszámlálási méréseinket átszámítva $\lambda = 5300 \text{ \AA}$ -re, 90 fot/sec értéket kaptuk (BAY [28] közleménye).

Nyilvánvaló volt, hogy az $\text{Ag}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$ -rétegtű fotonszámláló spektrális fényérzékenysége az emberi szem fotonérzékenységehez mérve a hosszabb hullámok felé tolódott el. Ha figyelembe vesszük a nulleffektust, annak $1/60 \text{ elektron/min.}$ gyakoriságát, akkor látható, hogy a fotonszámlálóval mérhető fényintenzitás alsó határa kisebb az emberi szem által észlelhető legkisebb fényintenzitásnál. Emellett megemlítendő, hogy az emberi szem szubjektív jellegű és fáradékony, ami korlátokat szab az egzakt méréseknek. Ezzel szemben a fotonszámláló tökéletes és nagy pontosságú kvantitatív eredményeket szolgáltat. Általa egy eddig minden ismert eszköznél, az emberi szemnél is fényérzékenyebb műszerhez jutottunk, amelynek segítségével olyan rendkívül gyenge fényjelenségek és fényváltozások is mérhetővé váltak, amelyekre eddig nem volt lehetőség. Az elmúlt időkben a fotonszámlálókkal az atomfizikában és a csillagászatban jelentős eredményeket értek el.

7. Részecskeszámlálás

Miután meggyőződünk a fotonszámláló nagy fényérzékenységről, még 1939-ben sor került az első részecskeszámlálási kísérletekre. A sokszorozócső üvegburáját a katód szemközti falán vékony zinkszulfid réteggel vontuk be és Polonium alfa részecskéikkel bombáztuk; a keletkezett felvillanásokat felerősítve az oszcilloszkópon impulzusokat észleltünk. A szcintillációs számlálásnak ezt az útját nem fejlesztettük tovább, mert a polykristályos zinkszulfid kristályszemcséi a fényt minden irányba szétszórták, ezáltal a számlálás rossz hatásfokot mutatott. Ezért az a nem egységes vélemény alakult ki

köztünk, hogy a szcintillációs módszert nem érdemes egyelőre fejleszteni, annak ellenére, hogy a sokszorozó katódjának kishatásos felületét növelni lehetett. Nagy előnye a Geiger—Müller-csővekhez viszonyítva a jobb felbontóképesség volt. Átlátszó és a fényt vezető egykristály vagy folyadék szcintillátorok akkor még nem voltak ismertek.

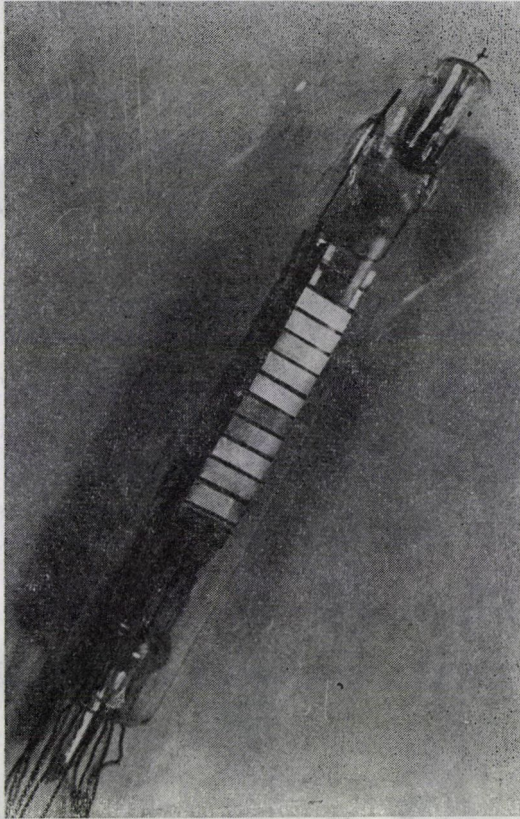
Fontosabb volt számunkra az elektron- és fotonszámoló további tökéletesítése, ezt elsősorban a folyékony nitrogén elhagyásával értük el, elkerülve az egész sokszorozócsőnek $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra való lehűtését.

Az első megállapítás az volt, hogy ha lemondunk az ultravörös fény-érzékenységről és olyan fotokatódot választunk, amelynek a kilépési munkája nem kisebb $\varphi = 1,3 \div 1,5\text{ eV}$ -nál, akkor szobahőmérsékleten a termikus emisszióval nem kell számolni és a folyékony nitrogénnel való hűtés elmaradhat.

Korábbi termikus és szekunderemissziós kísérleteknél tapasztalható volt, hogy a legjobb emissziós eredmények akkor érhetők el, ha valamely alapfémén egy vékony, azt egyenletesen beborító kristályos oxidréteg van és ezen földalkáli vagy alkáli fémek atomjai adszorbeálódnak. Az oxidréteg vastagsága foto- és szekunderemissziós katódoknál azonban a szigetelés és feltöltődés veszélye miatt kritikus volt. Az ilyenkor fellépő Malter-effektus miatt a rétegvastagság nem lehetett több néhány száz Å-nél.

Az első kísérletek Ni—BaO—Ba rétegű foto- és szekunderemissziós katóddal indultak meg. — A legtöbb tapasztalatot a BaO katódok révén szereztük. — A termikus emissziónál magas hőmérsékleten a BaO katód felületéről emittált elektronok utánpótlása az alapfémből vezetés útján biztosított. Nem így a foto- és szekunderemissziós katódok esetében, amikor ezek az emitterek szobahőmérsékleten működnek. Az elektronutánpótlás csak akkor biztosítható, ha a szigetelő oxidréteg annyira vékony, hogy az elektronvezetés az alapfémből létrejöhet.

Eljárásunk során az ülepítéssel szétválasztott, kb. $0,05 \div 0,2\text{ }\mu\text{m}$ szemcseméretű, 2—1—2 mol arányú Ba—Sr—CaCO₃ elegykristály szuszpenzióból vékony réteget választottunk le mind a foto-, mind a szekunderemissziós katódokat képező Ni-alapfémre. A hármaskarbonát a termikus bontás után alakult át báriumoxiddá. Ha ezután magasabb hőmérsékleten tovább izzítottuk, akkor fémbárium redukálódott és egyidejűleg adszorbeálódott az oxidréteg felületén. Ezalatt a magas calciumoxid tartalom meggátolta a báriumoxid megolvadását és a réteg párolgásával a kellő vékonyságú kristálystruktúra elérhető volt. E termikus kezeléssel kialakított Ni—BaO—Ba + SrO—Sr + CaO—Ca rétegrendszer, szekunderemissziós tényezője a $\delta = 2,5 \div 3,5$ elektron 200 V ütközési sebességnél. A fotokatód hasonló módon független hőkezeléssel aktiválva, beállítható volt a kívánt $\varphi = 1,3 \div 1,5\text{ eV}$ kilépési munkaértékre. A spektrális fotoérzékenység maximuma a Ni—BaO—Ba rétegnek Ni alapfémén $\lambda = 4500\text{ Å}$ -nél volt. Az 5. ábrán egy mágneses fókuszá-

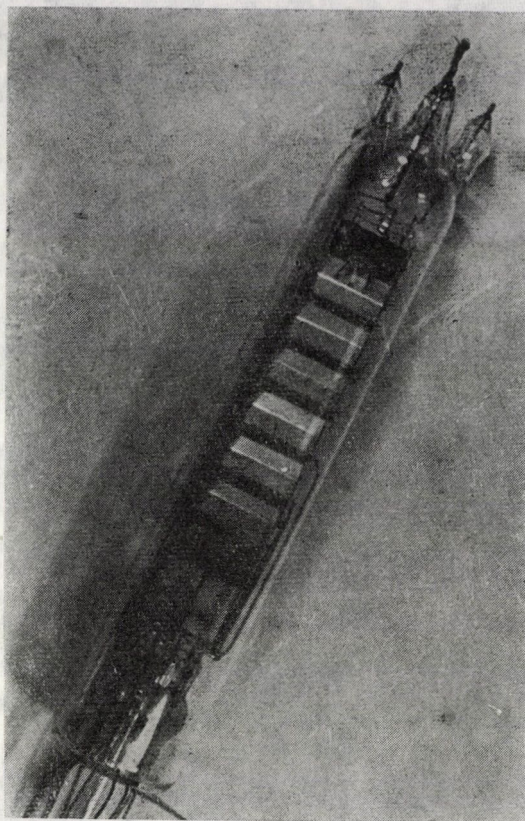


5. ábra. Mágneses fókuszálású elektronsokszorozó Ba—BaO—Ba katódával

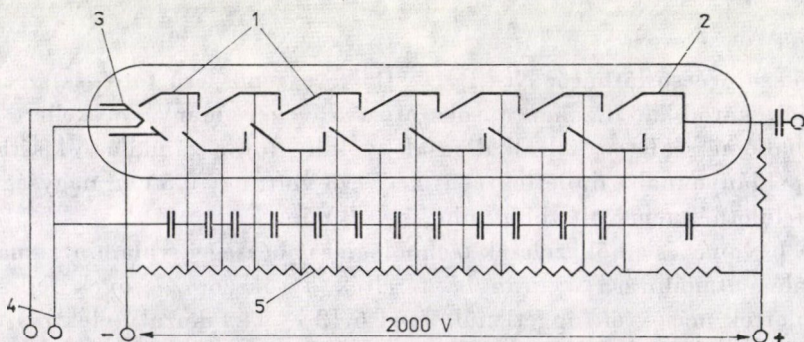
lású sokszorozócső látható, Ni—BaO—Ba rétegrendszerű foto- és szekunder-emissziós katóddal. Ezeket a sokszorozócsöveket már nem kellett hűteni és szobahőmérsékleten is alkalmasak voltak fotonyszámlálási kísérletekre. Egyes példányoknál a nulleffektus is kedvező volt; egy $0,5 \text{ cm}^2$ nagyságú fotokatód felületnél nem volt több, mint $5 \div 8/\text{min}$.

A bevonás és a hőkezelések technológiai nehézségei, valamint a mágneses fókuszálás utánállítása új irányba terelték a sokszorozócsövek fejlesztését. Megszülettek másoktól függetlenül, az első $12 \div 14$ fokozatú elektrosztatikus fókuszálású sokszorozócsövek (BAY [29]). Ezeknél a szekunderelektronok a potenciáalterek kialakításával növekvő feszültségű térben gyorsulva haladtak az egyik dinodáról a másikra. A 6. ábrán egy elektrosztatikus fókuszálású 14 fokozatú sokszorozócső és annak vázlatos rajza látható.

Időközben a szekunderemissziós ismeretek is bővültek. BRUINING [30] egy új szekunderemissziós katódot fejlesztett ki, a Philips cég pedig egy széles-



6a. ábra. Elektrosztatikus fókuszálású 14 fokozatú sokszorozó



6b. ábra. Elektrosztatikus fókuszálású sokszorozócső vázlata

sávú 15 ma/V meredekségű szekunder katódos erősítőcsővel, az EE1-el jelent meg a világpiacon. Ez Ni—MgO—Ba rétegrendszerrel működött és szekunder-emissziós tényezője $\delta = 4,5 \div 5,5$ elektron volt 150 V ütközési feszültségnél.

Eddig ez volt az a legnagyobb szekunderemissziós képességű katód, amit a céziumon kívül ismertünk.

Az eljárás, amint azt egy EEI csőből szerző rekonstruálta, a következő volt; a cső elektronoptikáját képező Ni elektródán kis fémmagnézium darabkák voltak elhelyezve és a Ni felület nagyobb része tiszta BaCO_3 -al volt bevonva. Ha ezt vákuumban nagyfrekvenciásan felizzítottuk, akkor a karbonát termikusan elbomlott CO_2 gázt adva le, és ebben az alacsony nyomású gázban elpárolgó fémmagnézium *in situ* oxid formában csapódott vékony rétegben a szekunder katód alapfémre. A MgO réteg mindenkori vastagsága az elpárolgó magnéziumfém mennyiségével volt arányos. A BaO réteg további izzítása azzal az eredménnyel járt, hogy az alapfém redukáló hatása folytán fém-bárium párolgott a MgO rétegre, ahol egyatomos réteget adszorbeált. Az ily módon előállított Ni—MgO—Ba rétegrendszer nagy szekunderemissziós képességének optimális beállítása olyan technológiai nehézségekkel járt, amelyek csak a reprodukálás közben mutatkoztak meg.

Az eljárás egyszerűbbé tételére született meg az ezüst-magnézium ötvöztött szekunderemissziós katódoknak a gondolata. Ha valamely fémbe olyan ötvöző fémet viszünk be, amelynek stabil magas olvadáspontú oxidja van, pl. ezüstbe $3 \div 4\%$ fémmagnéziumot, akkor olyan ötvözetet nyerünk, amelyből szekunderemissziós dinodákat készíthetünk. A felületen képződő vékony MgO réteg aktiválási folyamata leegyszerűsödik és nem áll másból, mint $350 \div 400^\circ\text{C}$ hőmérsékletű és 0,02 torr nyomású száraz oxigénben történő hevítésből. A hő hatására az ötvözet belsejéből fémmagnézium diffundál a felületre és ott *in situ* oxidálódik, miközben alkálifémet vagy alkálihalogént adszorbeál. Ezek az alkáli atomok származhatnak vagy bevitel útján, vagy a mindenkori mikroszenyezésekből. A szekunderemissziós réteg aktiválási ideje $30 \div 50$ perc, amely alatt eléri vákuumban az optimális értéket. Pl. az ötvözet katód Ag—MgO—Ba vagy Ag—MgO—KCl réteggű szekunderemissziós tényezője $\delta = 3,5 \div 4,5$ elektron, 150 V ütközési feszültségnél. Stabilitásuk igen jónak mondható, sőt többszöri levegőre hozás után is megtartják szekunderemissziós tulajdonságukat, amit az aktivátorként szolgáló alkáli-halogéneknek tulajdonítottunk.

ZWORYKINNAK még 1938-as laboratóriumi látogatásakor elmondtuk, hogy BRUINING eljárást, a Ni—MgO—Ba réteggű szekunder katódot sikeresen reprodukáltuk, továbbá közöltük a kísérleteink közben támadt ötvözet szekunder katód elgondolást. Rögtön elvetette, mivel szerinte a céziumos eljárás egyszerű és a fotocellagyártás folyamán jól kidolgozott. Az ötvözet katód nem lehet jobb a céziumnál, fotoérzékenysége nincs, a cézium kilépési munkája pedig minden ismert anyagnál kisebb. — Később mégis egy szabadalmi leírásban ZWORYKIN az ezüst-magnézium ötvözet szekunder katódról azt írta, „A vákuumban történő hőkezelés folyamán az Ag—Mg ötvözetben fázis-átalakulás megy végbe és olyan kristályfázis keletkezik, amelynek szekunder-

emissziós tulajdonságai igen kedvezőek". Csak az 1949-ben megjelent [31] ZWORYKIN—RAMBERG könyvben ismeri el, hogy az ötvözött szekunder katódok emissziós rétege alacsony oxigénnyomáson, hőkezelés folyamata alatt keletkezik, és ennek a MgO rétegnek van szekunderemissziós tulajdonsága, miután BAY [32] 1941-ben leírta a *The Review of Scientific Instruments*-ben az általam alkalmazott Ag—Mg ötvözet szekunder katód kezelési és aktiválási eljárását.

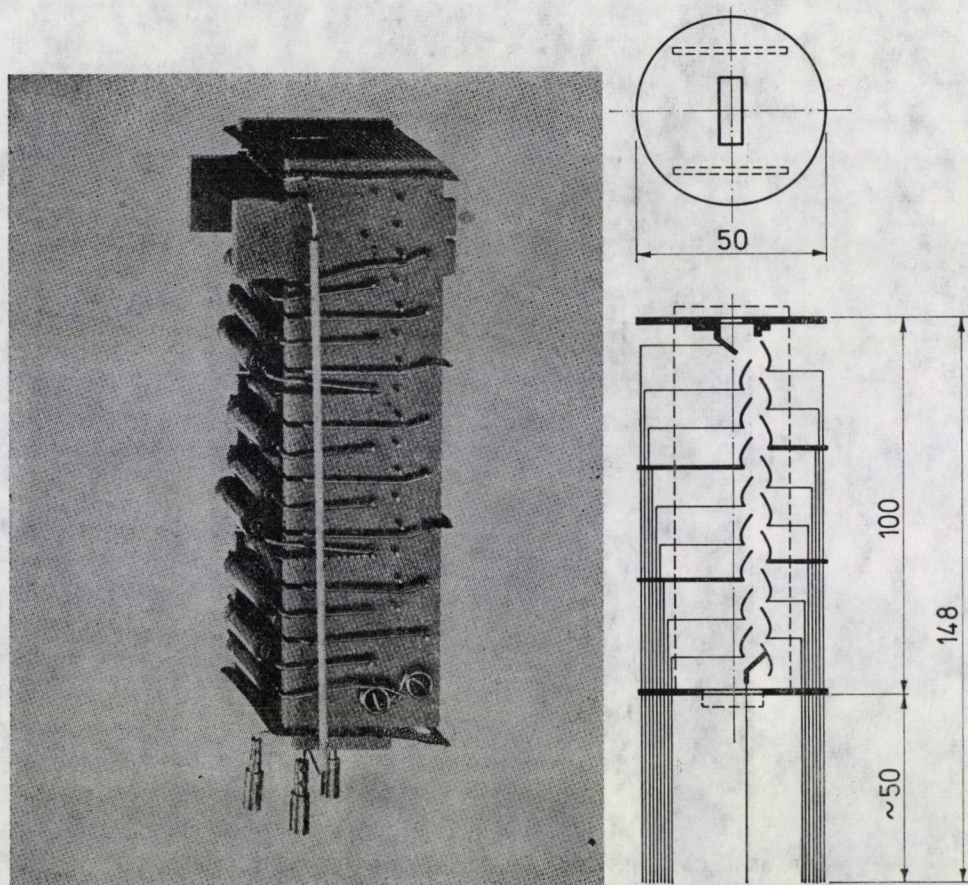
Szekunderemissziós kísérletek során a leírt elgondolás alapján több ötvözet szekunder katódot fejlesztettünk ki. Előállításra kerültek: az Ag—MgO—KCl rétegű, a Cu—ZnO—KCl és az ALLEN [33] javasolta Cu—BeO—KCl, valamint a Fe—CrO—KCl összetételek. A gyakorlatban az évek folyamán az Ag—MgO—KCl és a Cu—BeO—KCl szekunder katódok terjedtek el. Az ötvözött szekunder katódok előnyei akkor mutatkoztak meg, amikor a részecske elektron- és ionszámlálás céljaira beépíthető és ismételten levegőre hozható, majd ismét könnyen újra aktiválható sokszorozók kifejlesztése került előtérbe.

8. Szétszedhető és újra aktiválható sokszorozók

Kis áthatoló képességű részecskék számlálására, mint az alfa és béta radioaktív sugárzás, aktivitásának kvantitatív meghatározására és a tömegspektrométerek ionnyalábjának mérésére, szétszedhető, illetve beépíthető és ismételten mérési mintacserélésre alkalmas 14 fokozatú elektrosztatikus fókuszálású sokszorozókat terveztünk. Az ionsugár és részecskeszámlálással az volt a célunk, hogy olyan sokszorozók készüljenek, amelyek mindenfajta abszorpciós ablaktól mentesek és nagy érzékenységgű proporcionális eszközzé fejlesztve, bennük a sugárzó preparátumok könnyen cserélhetők legyenek. Az eljárás szerint minden további aktiválás nélkül a vákuumleszívás mellett biztosítania kellett a nagy felbontóképességet.

A probléma megoldását az ötvözött szekunder katódok tették lehetővé, mert a preparátum behelyezése után, a dinodok felületén adszorbeált levegő eltávolításával — mely egyidejű leszívás és kimelegítéssel történik — a sokszorozó mérésre kész állapotba kerül. A felnyitott sokszorozóba a preparátumot ismert nyílásszögű fémcső kapszulába helyezük és oly módon rögzítjük, hogy a kijövő részecske nyaláb csak az első dinoda felületét érje.

Ezeknek a szekundersokszorozóknak — számos levegőre hozás után — a szekunderemissziós tényezőjük stabilizálódik $\delta = 2,2 \div 2,5$ elektronra, 200 V ütközési feszültségnél. Alkalmazhatók kis és nagy energiájú, béta-, alfa-részecskék, valamint pozitív és negatív ionok számlálására. Az elmúlt évek folyamán a bontható sokszorozók széleskörűen elterjedtek; a magfizikában,

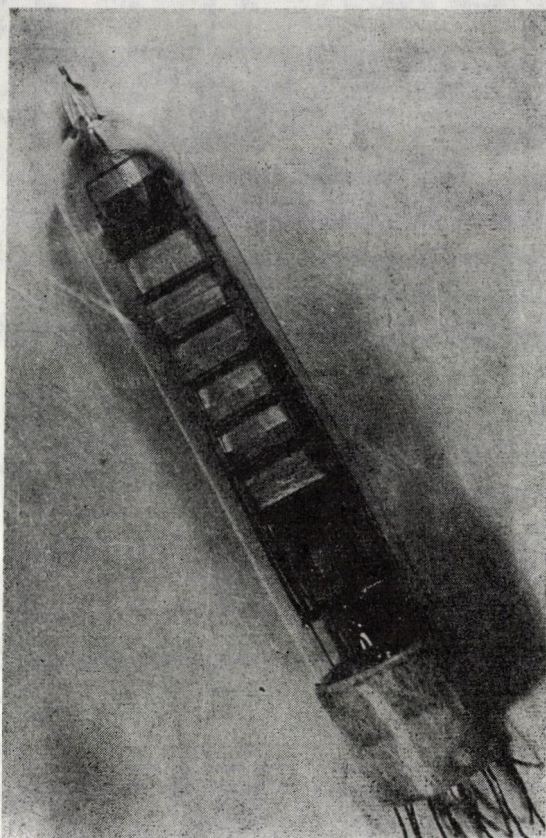


7. ábra. Beépíthető ötvözött szekunder katódú sokszorozó

maradék gázok analízisének, felületi vizsgálóberendezésekben, mint a SzIM, az Auger és számos más berendezésnél. A 7. ábra egy modern, beépíthető, a kereskedelembe kapható, Cu—Be ötvözött szekunder katódú sokszorozót mutat be.

9. Gamma- és röntgensugárzás számlálás

A kísérletek kiterjesztése folyamán elektron sokszorozókkal gamma- és röntgensugárzás méréseket is végeztünk. A mérések a sugárzás által kiváltott nagyenergiájú fotoelektronok fékezésén alapultak. A fotoelektronok fékezésére olyan nehézfémet fotokatódokat alkalmaztunk, amelyek anyaga és vastagsága a mérendő sugárzás energiájától függően a fém belsejében fotoelektronokat vált ki. Amire ezek a fém felszínére kerülnek, lefékeződnek és egy részük



8. ábra. Gammakvantumszámláló, vastag volfram katóddal

— mint kis sebességű elektronok — a sokszorozó elektronoptikai rendszerébe már befókuszálhatók és ezáltal számlálhatókká válnak. A gamma- és röntgen-számlálók előnye az ionizációs kamrákhoz képest a jobb felbontóképesség és hatásfokuk sem rosszabb. Kiterjedten használják ezeket röntgen difrakciós méréseknél és röntgen spektroszkópiában. A 8. ábrán egy gammakvantumszámláló látható, vastag volfram katóddal.

10. Kísérletek láthatófényre érzékeny fotokatóddal

A fény mibenlétének kutatásáról továbbra sem mondtunk le. Célunk az volt, hogy egy a láthatófény hullámtartományán belül szobahőmérsékleten működő, a cézium érzékenységének megfelelő fotonszámlálót fejlesszünk ki. A célnak jól megfeleltek a Ni—BaO—Ba rétegű fotokatódok, azonban csak egyes kiugró példányokkal sikerült jó eredményeket elérni. Később K. O.

KIEPENHEUER [34] nyomán desztillált fémkáliumrétegű fotokatóddal véltük kitűzött célunkat elérni. A vastag rétegű kálium fotokatód kilépési munkája az irodalom szerint $\varphi = 1,7$ eV, a spektrális fényérzékenység maximuma $\lambda = 4200$ Å. Azt terveztük, hogy az Ag—KO—K rétegű, aktivált fotokatód érzékenysége eléri vagy megközelíti az Ag—Cs₂O—Cs fotokatód érzékenységét anélkül, hogy a nulleffektus, ill. a termikus emisszió is növekednék. Az aktivált kálium fotoérzékenysége kielégítő volt, azonban ez csak a mérések időtartamára volt fenntartható, mivel a kálium magas tenziója és kémiai tulajdonságai folytán elkerülhetetlen volt, hogy szabad kálium atomok kerüljenek a vákuumtérbe és ott fényt kibocsátó kisüléseket okozzanak. A nulleffektus is kielégítő volt; cm²-ként 1—3 elektron/min.

Végül a fény természetének tanulmányozására egy uviol érzékenységgű, jól reprodukálható stabil fotokatódú fotonszámláló mellett döntöttünk, mert a további kísérletekhez nagyobb energiatartalmú fotonok felhasználását vettük tervbe. A fotonok energiája az $E = h\nu$ összefüggés szerint alakul.

Ismert volt a tiszta oxidmentes fémmagnézium felületek nagy uviol érzékenysége. Uviolkatódú sokszorozócső céljára tiszta fémmagnézium tömbből fotokatódot vágtunk ki és szereltünk be a sokszorozócsőbe. A fémmagnézium már szabad levegőn oxidálódik, nekünk viszont vákuumban friss tiszta fémfelületre volt szükségünk. Ez a legegyszerűbben mechanikus módszerrel volt elérhető. Egy kívülről mágnessel mozgatott éles eszközzel friss felületet kapartunk, ami magasvákuumban jól megtartható. A magnéziumkatód érzékenységének mérésekor, a maximális fényérzékenység elérése után a kaparó élt visszahúztuk és végleg leforrasztottuk a sokszorozócsövet. A Mg fotokatód kilépési munkája, megegyezve az irodalmi adatokkal $\varphi = 2,14$ eV, a spektrális érzékenysége $\lambda = 2200$ Å maximumnál volt (R. SCHULZE [35]).

A háború folyamán az uviol sokszorozókat W. HANLE 1942-ben tanulmányozta laboratóriumunkban és átvette készítésüknek az eljárását, az Ag—Mg ötvözött szekunder katóddal együtt. Később a háború után ismét találkoztunk az általunk kifejlesztett fémmagnézium katódú sokszorozóval, a V2-ben alkalmazták, annak navigációs rendszerének uviol érzékelőjeként. Ez a módszer továbbra is fennmaradt az űrkutatásban, a rakéták és mesterséges holdak, űrszondák pályastabilizáló berendezéseinek uviol érzékelőjeként.

11. Fotonkoincidencia kísérletek

A fotonok kettős természetének mélyebb megismerésére gondolva, kísérleteket terveztünk. Ezt a szándékot az egyedi fotonok számlálására építettük.

A fény kettős természetének problémájánál vissza kell menni NEWTONig. Ő a fény mibenlétének értelmezését a kor mechanikus szemléletének meg-

felelően fogalmazta meg. Szerinte a fényforrások világító részecskéket bocsátanak ki, ezek a szemünkbe hatolva a fény érzetét keltik. NEWTON korpuszku-láris elméletével megmagyarázni vélte a fény minden tulajdonságát. Kísér-letei során egy üveghasábbal felbontotta a fehérfényt a szivárvány összes színeire. Azt látta, hogy a fehérfény magában foglalja az összes színeket. A korpuszku-láris fényelmélet most már bonyolultabb lett, nemcsak fényanya-gunk van, hanem végtelen sok különböző színű részecskének kell lennie. Ez megzavarta NEWTON elképzelését.

NEWTON kortársa, HUYGHENS hullámelméletével oldotta fel az ellent-mondásokat. — Kimondta, hogy a fény hullámmozgás és a világmindenséget kitöltő éter közegben tova terjedő hullámjelenség. Tehát mozgásenergiának és nem anyagnak a szállításáról van szó.

Sikeresen megmagyarázta a fény valamennyi tulajdonságát, mint a kettőtörést, a polarizációt, a difrakciót és az ²nterferenciát. A szín a hullám-elmélet szerint nem egyéb, mint különböző hullámhosszú fényhullámok által keltett színérzet.

Ezt követően a fizikusok sikeresen összekapcsolták a hullámfelfogást MAXWELL elektromágneses térelméletével. — Az elektromágneses fényhullám-elmélet szerint a fény a térben egyenletesen transzverzális hullámalakban terjedő elektromágneses rezgés, az elektromos és mágneses térerősségnek periodikus változása. A 19. század végén úgy látták a fizikusok, hogy az elektro-mágneses hullámok megértésével a fényelméletet végleg lezárták.

Ez a nézet mindaddig fennállt, amíg fel nem fedezték a fényelektromos jelenséget, vagyis azt, hogy fény beesésére a fémfelületekből elektronok lép-nek ki. Az elnyelt fény energiája az elektronokat a fématomok vonzó köréből el tudja szakítani és az elektronok a maradék energiával tovarepülnek. Ez a maradékegyergia, mint az várható, nem a fény erősségétől, hanem színétől, ill. a fény rezgésszámától függ, az intenzitás csak az elektronok számát növelte.

A felmerült problémát EINSTEIN oldotta meg; kimondta, hogy a fény a térben folyamatosan terjedő hullámjelenség, azonban a fény energiája össze-tömörülve — EINSTEIN szemléletes leírása szerint — fotonok formájában terjed, a fény tehet energiakvantumok, azaz oszthatatlan részecskék folyama-ként fogható fel, ami jól illeszkedik PLANCK kvantumsugárzási elméletéhez.

A fénykvantumokat először PLANCK ismerte fel 1900-ban, amikor az abszolút feketetestek magas hőmérsékleten való sugárzását és fényelnyelését csak úgy tudta értelmezni, hogy a fénykibocsátás és -elnyelés nem folytonos, hanem véges energiaadagokban történik. A fénykvantumok energiatartalma meghatározható a mindenkori sugárzásfajta rezgésszámából és egy furcsa univerzális állandóból, amelyet PLANCK a „*h*” jelöléssel vezetett be a fizikába.

Azonban EINSTEIN relativitás elméletével az energiát a tömeggel tette egyenértékűvé, $E = mc^2$, ezáltal a fotonnak is súlyos tömeget tulajdonított és végleg visszahozta a korpuszku-láris fényelméletet a fizikába. A foton

továbbra is hol hullámként, hol részecske természete szerint mutatkozik meg. BOHR javasolta a fény, illetve a fotonok mindkét megnyilvánulási formájának egyidejű elfogadását azzal az indokolással, hogy ezek a megnyilvánulási formák egymást kiegészítik, „komplementerek”, annak ellenére, hogy a két kép kölcsönösen kizárja egymást.

A fény kettős természetének a kutatása itt megtorpant, bár EINSTEIN kidolgozta a túsugárzás modern elméletét. Ezen elmélet szerint a fotonokat a fényforrásból kiinduló, igen finom túszerű, de mérhető hosszúságú interferáló hullámok alkotják. Ugyanakkor a foton, mivel csak egyetlen atommal ütközik, a teljes energiáját át tudja adni és fotoelektronok kiváltására is képes.

Ez az elmélet ellentmondásba került SELÉNYI Pálnak, intézetünk kísérleti fizikusának 1911-ben végzett, nagyszögű interferencia kísérletével. Eszerint a fényt kibocsátó atom a fényhullámokat 120° -nál nagyobb kúpszögben sugározza szét. Tehát a foton energiája nem koncentrálható egy tűbe. A mérhető koherencia hosszra pedig E. RUPP kísérlete 1926-ban adott nemleges választ, amikor gyors modulált fényzárat helyezett a fotonok útjába, amely csak rövid időre nyílt meg. Ámbár ez az idő nem volt elegendő a hullámvonulat teljes áthaladásához, mégsem volt tapasztalható, hogy a fotonnak csak törtrésze haladt volna keresztül a résen, a foton vagy egészen átment rajta, vagy egyáltalán nem.

A fizikusok egy nehezen megközelíthető probléma megfogalmazásánál — mint aminő a foton kettős természete —, gyakran alkalmaznak úgynevezett gondolatkísérleteket, függetlenül attól, hogy a végrehajtásához a feltételek rendelkezésre állanak-e vagy sem. Fontos mindössze az, hogy a kísérletek elvi akadályba ne ütközzenek. — Most ott tartottunk, hogy rendelkezünk egy rendkívül fényérzékeny eszközzel, mellyel egyes diszkrét foton kilépését, vagy hullámtermészetéből részecske természetbe való átmenetének észlelését remélhettük.

Tehát kerestünk olyan elvi gondolatkísérletet, amely a foton kettős természetére vonatkozóan valamelyes felvilágosítást adhat. Ilyen volt az M. BORN [36] által felvetett foton koincidencia kísérlet. Eldöntendő volt, hogy olyankor, amidőn egy félig áteresztő tükrön fény halad keresztül, vajon a fotonok egyidejűleg átmennek és visszaverődnek-e, tehát két részre osztódnak-e, mely esetben, két sokszorozóra ejtve és felerősítve azokat egy koincidencia erősítőben egyidejű impulzusokat kell kapni. Ha viszont a fotonok hol az egyik irányba, hol a másik irányba haladnak, akkor koincidencia nem léphet fel és egyidejű impulzusokat nem kaphatunk. A kísérletet 1943-ban hajtottuk végre, de mint várható volt, kevés számú foton esetében koincidenciát nem észleltünk. Azonban nagyszámú foton esetén a berendezés néhány véletlen koincidenciát jelzett, és a nagyszámok törvénye szerint való statisztikus eloszlást mutatott. TAKÁCS Lajos vizsgálta a stohasztikus folyamatok elemzésével a kapott impulzusokat és valamelyes eredményt próbált kiolvasni.

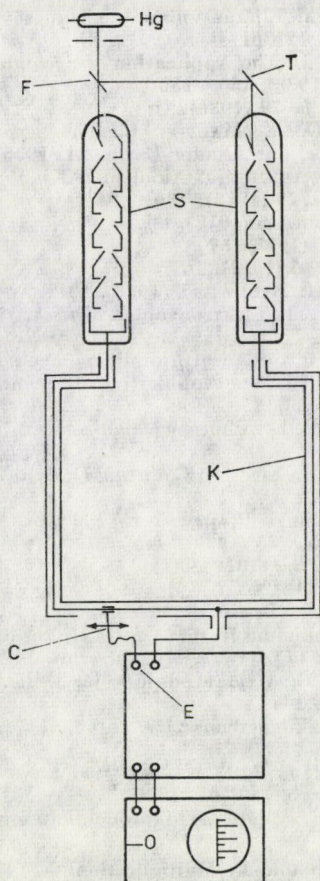
Egy alkalommal, még 1943-ban, vendég érkezett az Intézetbe, DEBYE professzor, akinek meg akartuk mutatni a koincidencia kísérletet. Szerző maga végezte a kísérleti berendezés összeállítását, mivel csak alkalmilag működött a kísérleti összeállítás. Most azonban kellő nagyszámú foton esetében sem jelentek meg a véletlen koincidenciák impulzusai, annak ellenére, hogy a készülék körül minden rendben volt. Végül nem volt már mire gondolnia, ezért rejtett szakadást gyanítva PAPP Györgytől visszakerítte azt a két eredeti zsinórpárt, amelyekkel a sokszorozók kollektorát összekötötte a koincidencia erősítő bemenetével. Amint ez megtörtént, azonnal megjelentek a véletlen koincidenciák impulzusai, ha ellenben a másik zsinórpárt tette vissza, akkor azok megszűntek. Azonnal látható volt, hogy a különbség a két zsinórpár aszimmetriájában keresendő. Szerző megmutatta az effektust PAPP Györgynek, akivel meghatározták az erősítő bemenetének időállandóját és az aszimmetrikus vezetékekben az áram futási idejét, ez az időkülönbség okozta ti. az impulzusok kimaradását, mely idő $1 \cdot 10^{-9}$ sec felbontásnak felelt meg. Ezután már egyszerű volt az impulzusok kioltására egy szimmetrikus koaxiális kört készíteni, melyen eltolható csatlakozás volt és a szimmetriától való $10 \div 15$ cm-nyi eltolás elegendő volt az impulzusok kioltására. Az összeállítás vázlata a 9. ábrán látható; ahol (S) jelöli a sokszorozókat, a Hg-lámpa fényét az (F) féligáteresztő tükör osztja két részre. Az átmenő sugár közvetlen jut a sokszorozó katódra, a visszavert sugár egy tükör közbeiktatásával jut a második sokszorozó katódjára. A kollektorok a (K) koaxiális kör bemenetéhez csatlakoztak, a koaxiális körvezeték szemben levő oldalán pedig két szimmetrikus leágazás csatlakozott az (E) koincidencia erősítő bemenetéhez, mely közül az egyik eltolható volt. Ha a mozgatható leágazást 15 cm-rel eltoltuk, akkor az (O) oszcilloszkóp ernyőjén az impulzusok kioltódnak.

A fény kettős természetének a mibenlétének problémájához mi sem jutottunk közelebb, de egy véletlen felismerés során, először sikerült megmérni $1 \cdot 10^{-9}$ sec-os idő felbontást és erre alkalmas berendezést készíteni.

A későbbi idők folyamán BAY Zoltán tovább fejlesztette a nanoszekundumos technikát és $1 \cdot 10^{-10}$ és $5 \cdot 10^{-11}$ sec-os felbontást ért el és hasznos eszköze lett az időspektroszkópiának, azonban az első kísérletek irányt mutatók voltak a fejlődés további menetére.

Ezzel az elektronok és fotonok sokszorozókkal történő számlálásnak kísérletei lezárultak, és a II. világháború alatt a kutatások a mikrohullámok, ill. a radarcsövek kutatására összpontosultak.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Bay Zoltánnak, aki kezdeményezője és irányítója az elektronszámlálási kísérleteknek, tanácsaiért és bátorításáért, Dr. Czukor Károlynak, aki kutatói munkámat az elektronemissziós problémák felé irányította, valamint Dr. Winter Ernőnek értékes tanácsaiért, végül Dr. Papp Györgynek, akivel számos alkalommal diszkutáltuk a fotonok problémáit és értékeltük célkitűzéseinket.



9. ábra. Nanoszekundumos koincidenca kioltókör

IRODALOM

1. EINSTEIN, A.: *Ann. der Phys.* **17** (1905), 132; *Ann. der Phys.* **20** (1906), 199
2. LANGMUIR, I.: *Phys. Rev.* **2** (1913), 450; *Phys. Zeitschr.* **15** (1914), 516
3. Philips-féle fémgőz szab. D. R. P. 443, 323 1923
4. RICHARDSON, O. W.: *Phil. Mag.* **23** (1912), 192
5. LANGMUIR, I.: *Trans. Am. Electrochem. Soc.* **29** (1916), 125
6. RICHARDSON, O. W.: *Emission of Electricity from Hot Bodies*, London 1921
7. LANGMUIR, I.—KINGDON, K. H.: *Science* **57** (1923), 58
8. WEHNELT, A.: *Ann. der Phys.* **14** (1905), 425
9. NATTHINGHEM, W. B.: *Phys. Rev.* **49** (1936), 78; *Phys. Rev.* **47** (1935), 806
10. KINGDON, K. H.: *Phys. Rev.* **24** (1924), 510
11. WIGNER, E.—BARDEEN, D.: *Phys. Rev.* **49** (1936), 653
12. DE BOER, I. H.: *Physica* **1** (1934), 753; *Physica* **2** (1935), 521
13. BRÜCHE, H.: *Jarhb. Forsch. Inst. AEG.* **4** (1933—1935), 25
14. ARNOLD: *Phys. Rev.* **16** (1920), 70
15. SPANNER: *Ann. der Phys.* **75** (1924), 609
16. BUDINCSEVITS, A.: Eljárás oxidkatódák előállítására. Magy. szab. 130,991
17. PATAL, E.—TOMASCHEK, Z.: Weitere Versuche zur Herstellung von Oxidkathoden von Kolloider Struktur. *Kolloid Zeitschr.* **75** (1936), 81
18. LUSSANET DE LA SABLONNIÈRE, C. J.: Der innere Widerstand von Schirmgitterröhren. *Hochfrequenztech. u. Elektroak.* **41** (1933), 204—205

19. BUDINCSEVITS, A.—WINTER, E.: Eljárás villamos kisütőcsövekhez való rácsoz-
zására. Magyar szab. száma 121761
20. JONKER, J. L.—OVERBEEK, A. J.: The Application of Secondary Emission in Amplifying
valves. *WIRELESS ENG.* **15** (1938), 150—156
21. ZWORYKIN, V. K.: *Journ. I. E. E.* **79** (1936), 1
22. ZWORYKIN, V. K.—MORTON, G. A.—MALTER, L.: The Secondary Emission Multiplier,
a New Electron Device. *Proc. Inst. Radio Engrs.* **24** (1936), 351
23. VAVILOV, SZ. I.: A fény mikrostruktúrája. Akadémiai Kiadó, 1955
24. BARNES—CZERNY: *Zs. f. Phys.* **79** (1932), 436
25. RUSSEL, H. N.: *Astrophys. Journ.* **45** (1917), 60
26. BUISSON, H.: *Journ. d. Phys.* **7** (1917), 67
27. REEVES, P.: *Astrophys. Journ.* **46** (1917), 167
28. BAY, Z.: *Nature* **141** (1938), 284; *Nature* **141** (1938), 1011
29. BAY, Z.: Elektronvervielfacher als Elektronzähler. *Zeitsch. für Phys.* **117** Band, 4 Heft
(1941), 227—245
30. DE BOER, I. H.: Elektron Emission and Adsorption Phenomena. Univ. Press Cambridge, 1935
- JONKER, J. L.—OVERBEEK, A. J.: The Applikation of Secondary Emission in Amplifying
Valves. *Wireless Engr.* **15** (1938), 150—156
31. ZWORYKIN, V. K.—RAMBERG, E. G.: Photoelectricity and its Application, Wiley & Sons,
New-York 1949
32. BAY, Z.: Electron Multiplier as an Electron Counting Device. *The Rev. of Scientific Instru-*
ments. **12** (1941), 127—133
33. ALLEN, J. S.: The Detection of Single Positive Ions, Electrons and Protons by a Secondary
Electron Multiplier. *Phys. Rev.* **55** (1939), 966
34. KIEPENHAUER, K. O.: *Zs. für Phys.* **107** (1937), 145
35. SCHULZE, R.: *Z. Physik* **92** (1934), 212
36. BORN, M.: Optik Springer Verlag, Berlin 1933, 456
37. BUDINCSEVITS, A.: Bárium-alumínium fémötvözet és eljárás annak előállítására, valamint
felhasználására kisütőcsövek készítésére. Magyar szab. 107,989
38. BUDINCSEVITS, A. és WINTER, E.: Oxidkatóda és eljárás előállítására (2—1—2, 2—1—1)
arányban. Magyar szab. 128,306
39. BUDINCSEVITS, A.: Eljárás szekunderemissziós katóda és annak előállítására. Magyar
szab. 126,962, 1939
40. BAY, Z.—BUDINCSEVITS, A.—HORVÁTH, A.—WINTER, E.: Szekunderemissziós katóda és
annak előállítása. Magyar szab. 130,765, 1940
41. BUDINCSEVITS, A. és WINTER, E.: Eljárás oxidkatódok kataforetikus bevonására.

Counting of Electrons and Photons by Multiplication. — The author offers a scholarly-historical review on the research investigations carried out during the period 1930 to 1950 on thermic and secondary electron emission valves and electron multipliers as well as on the results of these investigations not published as yet. Further, the experiments performed on the counting by multiplication of low-speed thermic and photoelectrons are discussed. The development of the alloyed secondary cathodes, the Ag—Mg alloyed dynodes, the 12—14 stage electrostatic focussed and dismountable electron multipliers is presented. Author also reports on the experiments of counting atomic particles, ions and photons as well as the scintillation measurements. Eventually the problems of the dual nature of light is analysed, and report is made on a realization of a concept experiment, on the photocoincidence tests, as a result of which, by a random recognition, in 1943, the division of time into $1 \cdot 10^{-9}$ sec was successful. This method so far constitutes the fundament of the time spectroscopy.

Elektron- und Photonzählung mit Hilfe eines Elektronenvervielfachers. — Der Autor gibt eine Übersicht über die thermischen und Sekundäremissions-Elektronröhre, und über den mit Elektronenvervielfachern durchgeführten Forschungen und über die noch nicht veröffentlichten Resultate der Versuche. Er beschreibt die Versuche, die zur Vermehrung durchgeführte Zählung der thermischen und Lichtelektronen von kleiner Geschwindigkeit vorgenommen wurden. Die Entwicklung der legierten Sekundärkathoden, Ag—Mg legierten Dynoden, weiters der 12 bis 14 stufigen fokussierten und zerlegbaren Elektronenvervielfacher wird erläutert. Alsdann berichtet die Abhandlung über die Versuche der Zählung mit dem Elektronenvervielfacher der Atomteilchen, Ionen und Photonen, sowie über die Szintillationsmessungen. Schließlich werden die Probleme der zweierlei Natur des Lichtes behandelt und berichtet wird über einen Konzeptionsversuch und Koinzidenzversuch die im Jahre 1943 durch eine zufällige Erkenntnis zur Zerlegung der Zeit auf $1 \cdot 10^{-9}$ sec führten. Diese Methode bildet auch heute noch die Grundlage der Zeitspektroskopie.