

Kísérletek az alagúteffektussal

Attila és Tamás leírtak egy érdekes jelenséget, melyben az alagúteffektus makróméretekben történő alkalmazását javasolták. Ezt elolvasva Varnyú Ferenc kedvet kapott a jelenség részletesebb tanulmányozásához, s végzett néhány érdekes kísérletet is. Ezekről Feri a következőket írta:

Statikus mérések

DC1. Mérés

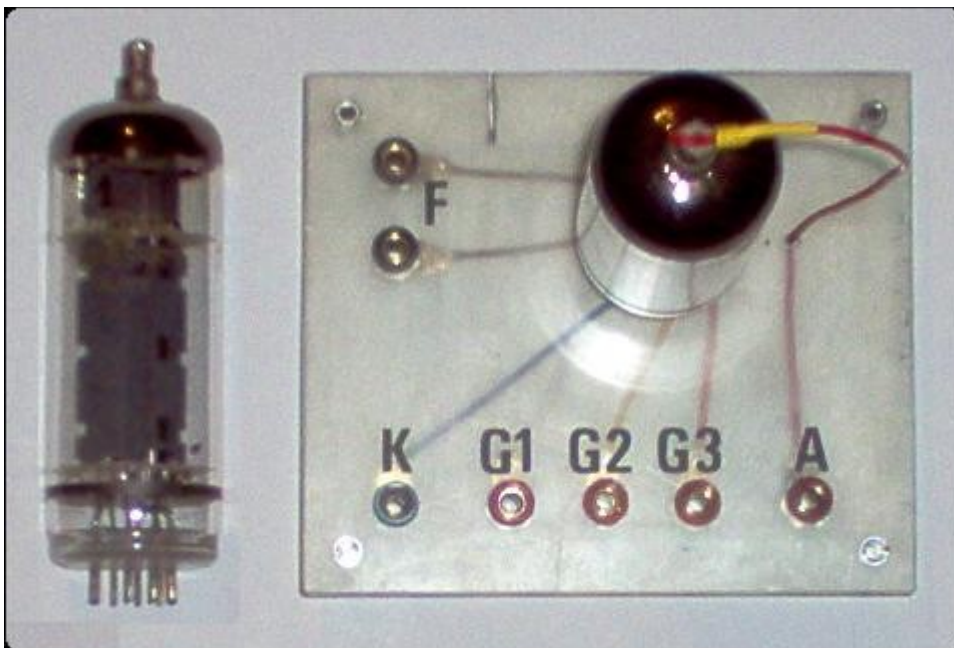
A mérés célja: A Magyar Tamás és Joubert Attila által felfedezett és publikált jelenség mérésekkel történő igazolása.

Ezek a mérések 40 V AC fűtőfeszültséggel és folyamatos DC gyorsítófeszültséggel történtek.

A mért elektroncsövekről

Két db [PL509](#) elektroncső állt rendelkezésemre, ezeket 1. és 2. számmal jelöltem.

- Az 1. számú teljesen új, vagy alig használt állapotú, a búrán a felirat ép állapotú, az üvegen elszíneződés nem látható.
- A 2. számú cső sokat használt példány, a felirat a búráról már leégett, az üveg belső oldalán az anódlemez magasságában az egyik oldalon szabálytalan sötétbarna elszíneződés látható, amit ólomkiválásnak vélek.

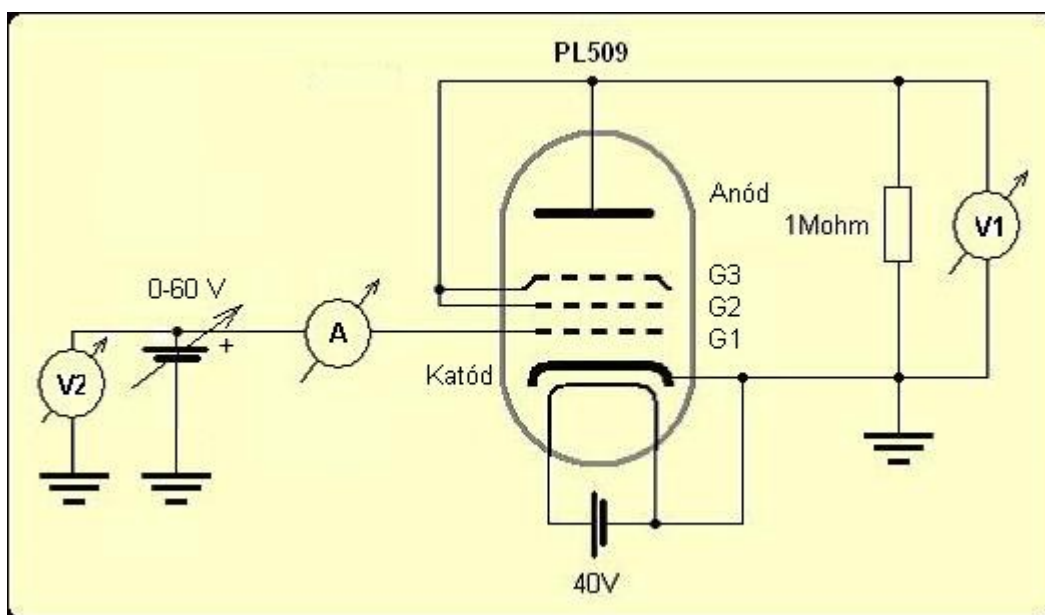


1. ábra. A PL509-es elektroncső és a próbapanel

A kapcsolási elrendezésről

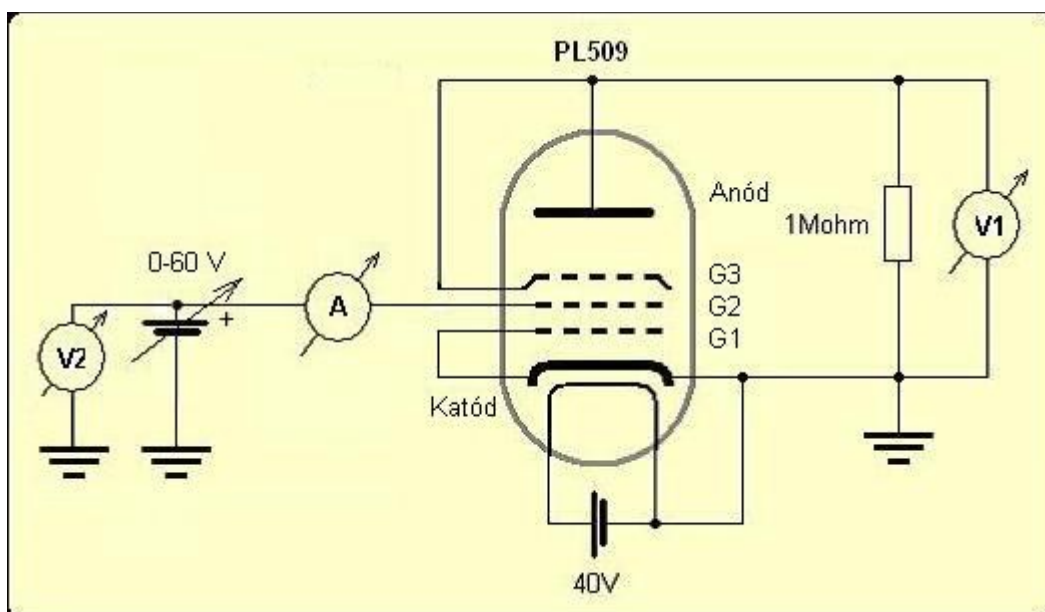
A csöveget kétféle bekötésben mértem, először a Fénykapun szereplő [módon](#), ez az 1.

számmal jelölt kapcsolás. (A Katódot a tápegység negatív pontjára, a G1-et az ampermérőn (A) keresztül a tápegység pozitív pontjára, G2-t, G3-at és az Anódot egymással összekötve. Az 1. feszültségmérő műszert (V1) a katód és anód közé, 2. feszültségmérő műszert (V2) a tápegység pozitív és negatív pontjai közé.)



2. ábra. Az 1. számmal jelölt kapcsolás

A vezérlőrács (G1) nagyon közel van a katódhoz, lényegében benne van a katódból a termikus gerjesztés hatására keletkező elektronfelhőben, ezért az ide kapcsolt pozitív feszültség, még kis feszültségértékek mellett is nagy rácsáramot vált ki. Ezért kipróbáltam egy 2. számmal jelölt kapcsolási változatot, melyben a Katódot és a G1-et összekötöm a tápegység negatív pontjával a G2-t az ampermérőn (A) keresztül a tápegység pozitív pontjával, az anódot a G3-mal. Az 1. feszültségmérő (V1) az anód és a katód közé van kapcsolva, a 2. feszültségmérő (V2) a katód és a G2 közé van kapcsolva.

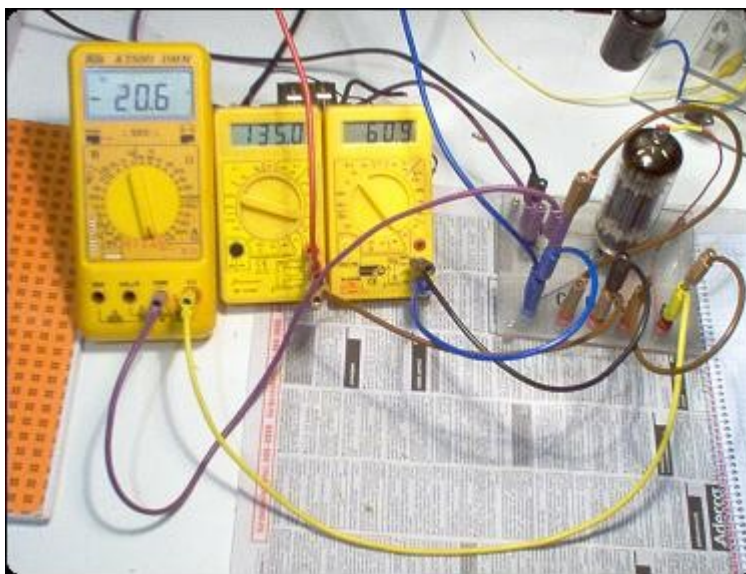


3. ábra. A 2. számmal jelölt kapcsolás

A műszerekről

Az 1. feszültségmérő (V1) 10 M Ω belső ellenállású multiméter. Ezzel mértem az anódon keletkezett feszültséget. A 2. feszültségmérő (V2) 1 M Ω belső ellenállású multiméter. Ezzel mértem a gyorsítófeszültséget.

A mérések előtt - csak a fűtőfeszültség bekapcsolásával - 5 perc ideig melegítettem be a csöveket, hogy a katód elérje a maximális emisszió képességét.



4. ábra. A mérőkapcsolás és a mérőműszerek

Mérési eredmények

Megmértem a katód-segédrács feszültséget a fűtés bekapcsolt állapotában.

Kapcsolás	1. cső	2. cső
Minden elektróda lebeg	U _{k-g1} = -1,2V	U _{k-g1} = -1,2V

1. táblázat. A katód és segédarács közötti feszültség

A következő táblázat az anódon mért feszültségeket, a hozzájuk tartozó gyorsítófeszültségeket valamint a rácsáramokat tartalmazza.

Gyorsító feszültség	1. kapcsolás 1.cső	1.kapcsolás 2.cső	2.kapcsolás 1.cső	2.kapcsolás 2.cső
1,5 V	I _g = 16,8 mA U _a = -0,82 V	I _g = 27 mA U _a = -0,83 V	I _g = 27 μ A U _a = -1,39 V	I _g = 65 μ A U _a = -1,43 V
2 V	I _g = 28,4 mA U _a = -0,78 V	I _g = 39,8 mA U _a = -0,83 V	I _g = 81 μ A U _a = -1,42 V	I _g = 159 μ A U _a = -1,45 V
3 V	I _g = 55,7 mA U _a = -0,82 V	I _g = 67 mA U _a = -0,83 V	I _g = 382 μ A U _a = -1,44 V	I _g = 487 μ A U _a = -1,48 V

4 V	Ig = 83 mA Ua = -0,81 V	Ig = 96,7 mA Ua = -0,83 V	Ig = 1 mA Ua = -1,44 V	Ig = 1,1 mA Ua = -1,5 V
5 V	Ig = 109 mA Ua = -0,79 V	Ig = 129 mA Ua = -0,83 V	Ig = 2 mA Ua = -1,45 V	Ig = 1,83 mA Ua = -1,5 V
7 V	-	-	Ig = 4,7 mA Ua = -1,43 V	Ig = 3,86 mA Ua = -1,54 V
10 V	-	-	Ig = 10 mA Ua = -1,44 V	Ig = 7,77 mA Ua = -1,86 V
15 V	-	-	Ig = 20,6 mA Ua = -1,55 V	Ig = 15,47 mA Ua = -3,2 V
20 V	-	-	Ig = 33,6 mA Ua = -2,34 V	Ig = 24 mA Ua = -4,3 V
25 V	-	-	Ig = 48 mA Ua = -3,03 V	Ig = 37,8 mA Ua = -8,78 V
30 V	-	-	Ig = 63,2 mA Ua = -5,06 V	Ig = 47,4 mA Ua = -10,4 V
40 V	-	-	Ig = 126,5 mA Ua = -12,89 V	Ig = 98,6 mA Ua = -17,97 V
60 V	-	-	Ig = 163 mA Ua = -15,76 V	Ig = 127 mA Ua = -21,3 V

2. táblázat. Az anódon mért feszültségek, a hozzájuk tartozó gyorsítófeszültségek és a rácsáramok

Megjegyzés:

Az anódon mérhető negatív potenciál a mérés közben ingadozást mutat. El- utána visszaállítva a gyorsítófeszültség értékét, nem mindig ugyanannyi anódfeszültség mérhető.

Az eredmények kiértékelése

- A Magyar Tamás és Joubert Attila által felfedezett, leírt effektus létezik, és az anód valóban többlet negatív potenciálra tesz szert a gyorsítófeszültség függvényében.
- Felmerül azonban a kérdés hogy ezt valóban az alagúteffektus okozza? A korrektség igényével meg kell vizsgálnunk az egyéb lehetőségeket is. Tudjuk hogy a G2 árama meglehetősen nagy és ezért a cső energiamérlege, vagyis a betáplált és kinyerhető energiák aránya a két PL509-es csőnél meglehetősen rossz, tehát elméletileg van bőven betáplált energia arra, hogy olyan reakciót gerjesszen, ami a többlet anódfeszültséget okozhatja. Nekem pillanatnyilag két ilyen lehetőség jutott eszembe, de végül mindkettőt elvettem:
 - Szekunder elektron-emisszió
Ez akkor következne be, ha a csőben felgyorsított elektronok becsapódnak valamelyik alkatrészbe, és azok felületén található

elektronoknak akkora energiát adnak át, hogy azok képesek kilépni. Ehhez azonban elegendően nagy energia kell és a csőbe beépített anyagokat gondosan úgy igyekeznek kiválasztani és elhelyezni, hogy a szekunder emisszió lehetősége minimális legyen.

- Ha feltételezzük hogy tökéletes vákuum nincs és a csőben levő getter anyag is csak főleg az oxigént köti meg, előfordulhat, hogy az elektronok a csőben gázmolekulákkal ütköznek és azokat gerjesztve a gerjesztett elektron többszörös ütközés után jelentős energiára tehet szert, ami eljuthat az erősen negatív anódig. Ezt a variációt a Frank-Hertz kísérlet eredményeinek ismeretében vettem el, ugyanis ha ez történné, a gáz jól definiált gerjesztési potenciálja miatt a gyorsítófeszültség-anódfeszültség függvény nem egy folyamatosan monoton emelkedő görbe lenne, hanem egy ciklikusan emelkedő-csökkenő tartományokkal rendelkező görbe.

DC2. Mérés

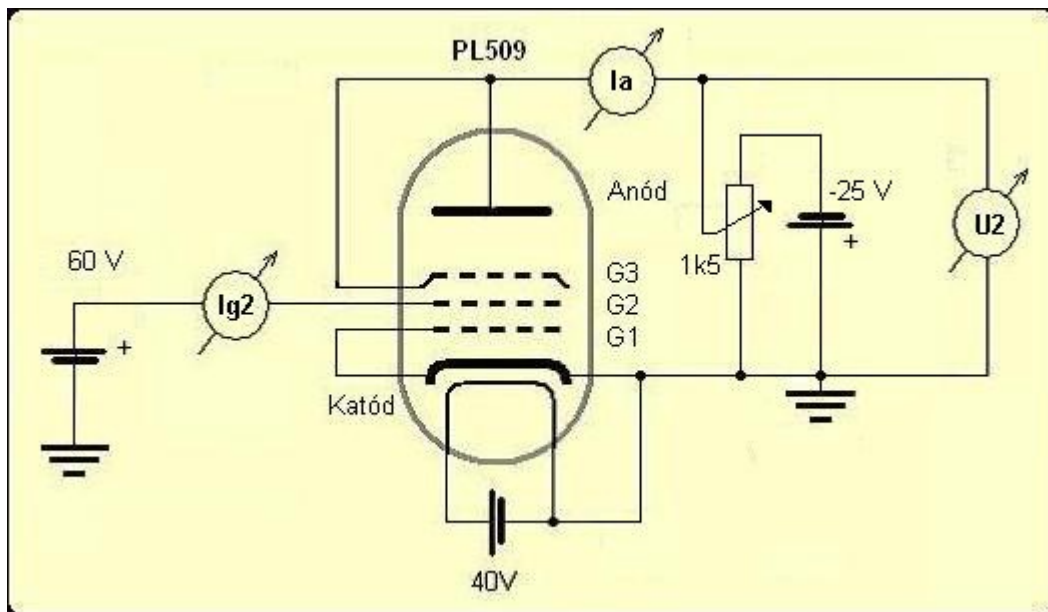
A mérés célja:

1. A PL509 anódján mérhető feszültség terheléstől való függésének vizsgálata, azaz hogy különböző terhelő áramok mellett mekkora anódfeszültség keletkezik.
2. A G2 gyorsító elektróda áramát milyen mértékben okozzák a rácson átjutott, de az anód eléréséhez kevesebb energiával rendelkező elektronok. Ha ugyanis a terhelő áram növelésével csökkentjük az anód feszültségét, egyre több elektronnak van akkora energiája, hogy azt elérje. Ezek az elektronok így az anódon gyülekeznek és nem fordulnak vissza a G2-re, amittől csökken a G2 árama.

A méréshez a DC1 mérésnél használt eszközök kerültek alkalmazásra.

A kapcsolásról

A fűtés 40 V AC. A Katód és G1 össze van kötve egymással és a tápegység negatív pontjával. A G2-re mA mérőn (I_{G2}) keresztül +60 V van kapcsolva. G3 és az Anód össze van kötve egymással és mA mérőn (I_a) keresztül egy 1,5 K Ω lineáris potenciométer csúszkájával. A potenciométer egyik vége a Katódra, másik vége -25 V-ra van kötve. A potenciométer csúszkája és a katód közé feszültségmérő (U2) csatlakozik.



5. ábra. A DC2. mérés kapcsolása

A mért eredmények

U2	Ia (2.cső)	Ig2 (2.cső)	Ia (1.cső)	Ig2 (1.cső)
-17,8 V	0 μ A	130,2 mA	+1,5 μ A	163,1 mA
-17 V	-11,5 μ A	131,1 mA	+1,1 μ A	163,5 mA
-16 V	-26,1 μ A	131,7 mA	0,0 μ A	164,0 mA
-15 V	-54,6 μ A	132,3 mA	-2,9 μ A	164,7 mA
-14 V	-106 μ A	132,8 mA	-8,3 μ A	165,3 mA
-13 V	-186 μ A	133,2 mA	-18,3 μ A	166,2 mA
-12 V	-362 μ A	133,7 mA	-35,9 μ A	166,8 mA
-11 V	-617 μ A	133,9 mA	-68,7 μ A	167,4 mA
-10 V	-1mA	134,0 mA	-135,9 μ A	168,0 mA
-9 V	-1,56 mA	134,2 mA	-280,0 μ A	168,5 mA
-8 V	-2,19 mA	134,1 mA	-505,0 μ A	169,1 mA
-7 V	-2,87 mA	134,0 mA	-790,0 μ A	169,8 mA
-6 V	-3,67 mA	133,7 mA	-1,18 mA	170,2 mA
-5 V	-4,59 mA	133,4 mA	-1,7 mA	170,8 mA
-4 V	-5,9 mA	132,9 mA	-2,05 mA	171,1 mA
-3 V	-8,24 mA	132,3 mA	-2,57 mA	171,3 mA
-2 V	-11,26 mA	131,3 mA	-3,43 mA	171,5 mA
-1 V	-15 mA	129,8 mA	-5,44 mA	171,3 mA
0 V	-17,57 mA	128,4 mA	-7,99 mA	170,4 mA

3. táblázat. A katódfeszültség és a rácsáramok

A mérés kiértékelése

- Mint látható az eredményekből, nem igazolódott az a feltevés, miszerint a G2 áramának jelentős részét a rácson átjutó, de az anód eléréséhez kevés energiával rendelkező elektronok G2-re történő "visszahullása" okozza.
- A két cső, anódfeszültség(U_2)-terhelőáram(I_a) karakterisztikája jelentősen eltér, ami arra utal hogy az effektus a csövek belső tulajdonságaira (elektróda elrendezés, katód állapota, gázosság stb.) kényes. A két elektroncső, amivel a méréseket elvégeztem különböző korú és elhasználtóságú, de hagyományos felhasználási módban kitűnően működő példány volt.
- Az 2.számú cső - ami TV készülékben már hosszabb szolgálatot teljesítő elhasználtabb példány volt - adott nagyobb mértékű és jobban terhelhető extra anódfeszültséget, kisebb gyorsítóárammal.

Tovább lépési lehetőségek

A célunk minél kisebb gyorsítóáram mellett minél nagyobb és jobban terhelhető anódfeszültség elérése.

Időközben felvettem a kapcsolatot a cikk szerzőivel, akik sok tapasztalattal és nagy kísérletezési múlttal rendelkező, nagyon készséges, szakemberek. Elmondták, hogy ezzel a témával utoljára több évvel ezelőtt foglalkoztak, akkor több különböző elektroncsővel végeztek méréseket. A hagyományos elektroncsövekkel végzett kísérleteik különböző mértékben mutatták az effektust, de az is nyilvánvalóvá vált, hogy egy, az Ő szempontjaiknak jobban megfelelő elektróda kialakításra és elrendezésre lenne szükség. Ezt egyes TV képcsövek elektronagyújának elektródarendszere közelíti meg a legjobban. Abban az időben -egyéb körülmények miatt- sajnos nem volt lehetőségük elkészíteni a megfelelő kísérleti eszközt és így a jelenség tanulmányozása abbamaradt.

Az elektródák célszerű elrendezését az [Alagúteffektus](#) című eredeti cikkben olvashatjátok, de itt most szöveges formában, Attilával folytatott beszélgetéseink alapján foglalom össze.

A katód után következik egy vezérlőrács, amivel a kilépő elektronok mennyisége szabályozható. Ez a képcsövekben is meglévő, közvetlenül a katódot követő hengeres elektróda. Ha nem akarjuk modulálni az elektronsugarat, akkor a katóddal célszerű összekötni, egyébként a katódhoz képest negatív feszültség ráadásával zárható le az elektronok útja.

Ezután egy gyorsító elektróda következik, amire a katódhoz képest pozitív feszültséget kapcsolva az elektronok felgyorsulnak. Az elektroncsövekben (PL509) ez egy vékony huzalokból álló háló, ami az elektronok áramlási irányára merőleges, így a felgyorsított elektronok egy része eltalálja és a rácson keresztül visszatér a gyorsító feszültséget előállító tápegységbe. Ez a mi szempontunkból veszteséget okoz, hiszen betáplált teljesítményt igényel. Más a helyzet a képcsöveknél, ahol a gyorsító elektróda egy, az elektronok haladási irányával párhuzamos tengelyű csődarab, melynek belsejében akadálytalanul haladhatnak. A katód-gyorsító elektróda távolság

nem túl kritikus - lehet mm-től cm-ig bármilyen - mert a gyorsítás csak a potenciálkülönbségtől függ, amin az elektron áthalad. A következő elektróda egy árnyékoló lemez, melyet e katód potenciálra célszerű kötni.

Ennek minél közelebb kell kerülnie a gyorsító elektródához és az elektronok minél kisebb furaton át jól fókuszált, vékony sugárban kell hogy itt áthaladjanak. Az elektróda feladata, hogy a gyorsítórácstól távol tartsa az anódra eljutni nem képes elektronokat és hogy a gyorsított elektronokhoz az anód fékező potenciáljának információja csak ezt az elektródát átlépve, minél később jusson el. Ezután következik az anód, ahol az elektronokat összegyűjtjük és elvezetjük a fogyasztóhoz, vagy kondenzátorban tároljuk.

Mivel pillanatnyilag nincs lehetőségünk tetszőleges elektróda elrendezésű csövet készíteni, a kísérleteket gyári képcsövekkel tervezzük elvégezni. A szükséges elektródák a képcsövek nyakában találhatóak, és anódként is ezeket tervezzük felhasználni oly módon, hogy a megfelelő elektróda magasságában a képcső nyakához illesztett, keresztirányú mágneses térrel az elektronokat a megfelelő elektródára kényszerítjük.

Fontos figyelmeztetés

A képcsövekkel való kísérletezés veszélyes dolog!

A szükséges magas feszültségek halálos áramütést okozhatnak, és a képcső külső mechanikai hatásoktól felrobbanhat. Kísérletképen felrobbantottam egy "robbanásbiztos" képcsövet. Iszonyú nagyot szól, és minden tele lesz üvegszilánkkal. Mint kiderült a vonatkozó szakirodalomból, a robbanásbiztosság a képcső elejére vonatkozik, kísérletezéskor pedig mindig a "hátulját" használjuk.

A kísérleteket mindenki csak a saját felelősségére végezze el, nem felelek semmiféle anyagi kárért, vagy személyi sérülésért!