Studentský projekt

Název projektu: **Návrh a ověření konstrukce speciálního detektoru pro studium nabíjení prachových částic**

Řešitel: **Jiří Pavlů**, 3. ročník

Vedoucí projektu: **doc. RNDr. Zdeněk Němeček, DrSc.**

Zpráva o řešení projektu:

Úvod

Na katedře EVF pracuje experimentální zařízení, vyvinuté pro laboratorní simulaci nabíjení prachových těles [**1**]. Základní myšlenkou experimentální aparatury je zavěšení jediného prachového tělesa do elektrodynamické pasti, ve které je těleso udržováno v dynamické rovnováze. Zachycené těleso pak umožňuje studovat jak nabíjecí, tak vybíjecí procesy za definovaných podmínek. K nabíjení a vybíjení zkoumaného tělesa slouží iontový a elektronový zdroj, které poskytují monoenergetický svazek částic do energií 5 keV. Emisní proudy obou zdrojů je možno regulovat.

Jak se ukázalo v průběhu prvních měření, vnitřní stabilizace elektronového a iontového zdroje není dostatečná pro provádění dynamických měření, ze kterých se určují parametry zkoumaných procesů. Je proto nutné zavést zpětné vazby a stabilizovat proud obou zdrojů z vnějšku. Navrhovaný způsob je následující: emisní proud iontového (elektronového) zdroje se měří Faradayovým válcem, který je umístěn v blízkosti kvadrupólového systému. Dopadající proud primárních částic je detekován kolektorem Faradayova válce a přes převodník proud/napětí je registrován zesilovačem (s nastavitelným zesílením), jehož výstupní napětí se pak porovnává s napětím z referenčního zdroje. Výsledný signál pak stabilizuje emisní proud příslušného zdroje částic.

Řěšení projektu

Záměrem projektu bylo vytvořit nový systém stabilizace emisního proudu pomocí Faradayova válce. Stručně můžeme postup našeho řešení konkretizovat takto:

- ⋆ navržení konstrukce Faradayova válce se systémem tří mřížek za dodržení omezujících požadavků daných již pracující aparaturou, tj. navržení jeho umístění a připojení do stávajícího experimentálního zařízení,
- ⋆ sestavení vyrobeného systému a jeho doplnění o mřížky (byly využity mřížky z jiného zařízení),

⋆ instalace systému Faradayova válce do zkušební vakuové aparatury,

⋆ úprava a doplnění příslušných elektronických obvodů,

⋆ ověření funkce systému,

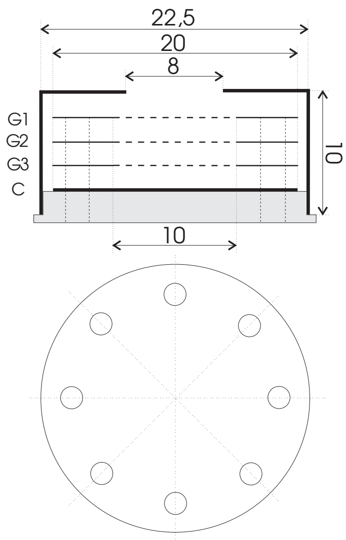
⋆ porovnání navrženého systému s referenčním, měření na systému.

Závěrečnou fází řešení projektu bylo vyhodnocení výsledků ověřovacího měření, navržení dalšího postupu a formulace doporučení.

Popis experimentálního uspořádání

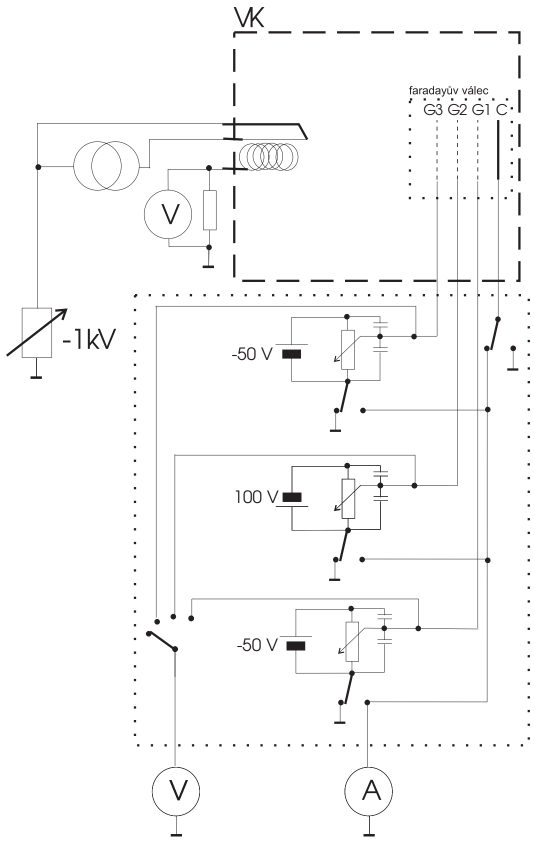
Návrh Faradayova válce pro detekci proudu elektronového svazku

Navržený Faradayův válec, jehož schematický nákres je na obrázku 1, je zhotoven z nerezové oceli. Základní nosník systému válce je z izolačního materiálu - z teflonu. Mřížky jsou wolframové a jsou umístěny na nosných kroužcích z nerezu a odděleny opět teflonovou izolací. Vlastní kolektor zakrývá základní nosník a je také vyroben z nerezové oceli. Hlavní rozměry jsou uvedeny v obrázku 1, vzdálenosti mezi jednotlivými mřížkami a mřížkou 3 a kolektorem jsou 1 mm. Mřížky jsou vyrobeny z drátu o průměru 50μm a jejich průsvitnost je 90%.



obr. 1

Jednotlivé mřížky válce jsou vyvedeny přes průchodku a připojeny ke zdroji proměnného napětí, podle zapojení, které je znázorněno na obrázku 2. Na mřížky 1 a 3 je možno přiložit



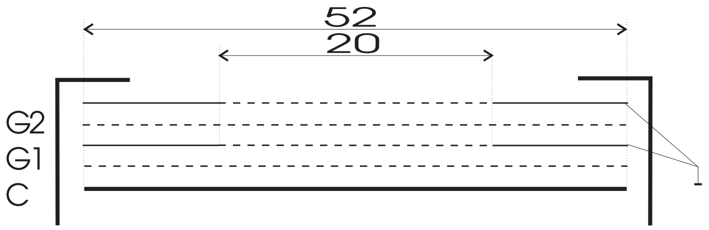
obr. 2

napětí 0 V až -50 V, na mřížku 2 pak napětí 0 V až +100 V. Z obrázku 2 je také patrno, jak bylo měřeno napětí na mřížkách, resp. proud tekoucí na mřížky.

Obdobně byl zapojen i referenční Faradayův válec, který jsme používali pro ověření některých procesů probíhajících v aparatuře. Jeho konstrukce byla také obdobná, podstatně se lišil rozměry, velikostí vstupního okna a počtem mřížek, což je vidět z obrázku 3.

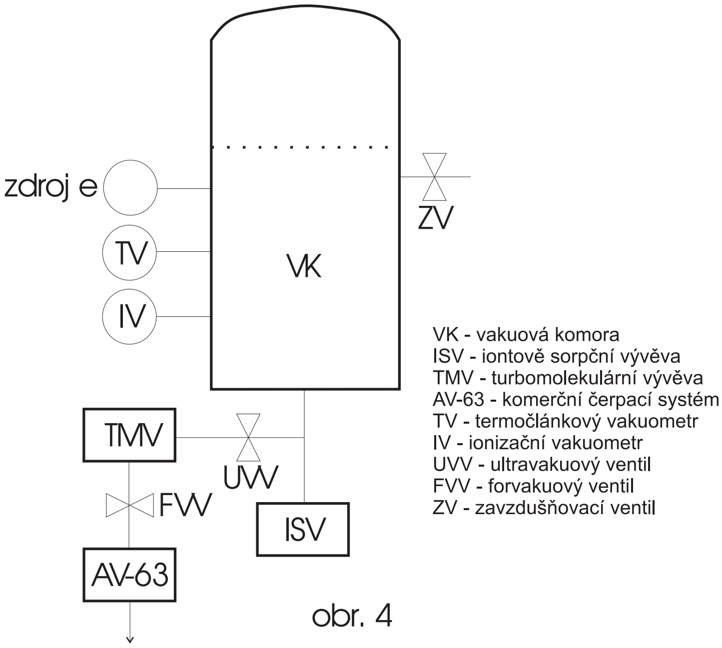
Vakuová část: experimentální uspořádání

Pro kalibraci Faradayových válců byla použita vakuová aparatura postavena pro kalibraci detektorů nabitých částic pro družicové experimenty [2]. Kromě výměny turbomolekulární vývěvy a několika změn v umístění přírub s průchodkami jsem do její konstrukce nezasahoval. Schema vakuové aparatury je na obrázku 4. Skládá se z vakuové komory (VK), systému čerpacích jednotek a systému, který umožňuje měřit tlak ve vakuové komoře. Čerpání je dvoustupňové, jako primární stupeň je použita rotační vývěva z komerčního systému AV-63. Jako sekundární vývěvy jsou použity jednak turbomolekulární vývěva (TMV) s čerpací rychlostí 150 l/s a jednak iontová-sorpční vývěva (ISV) s čerpací rychlostí přibližně 120 l/s. V komoře je možno dosáhnout za ideálních podmínek tlaku až 2×10^{-6} Pa.



obr. 3

Kromě zabudovaných vakuometrů v systému AV-63 jsou ve vakuové komoře umístěny termočlánkový (TV) a ionizační (IV) vakuometr. Aparatura se zavzdušňuje zapouštěcím ventilem (ZV). Celý systém je chráněn proti výpadku síťového napětí stykačem, který nedovolí opětovné naběhnutí zařízení, neboť po delším výpadku napětí by mohlo dojít k vzrůstu tlaku. Vstup do vakuové komory je umožněn odklopitelným zvonem, který přiléhá na gumové těsnění (zvon je přidržován pouze atmosférickým tlakem). Také většina přírub s průchodkami je těsněna gumovým těsněním (pro variabilní změny v uspořádání).



obr. 4

Zdroj částic

Jako zdroje nabitých částic - elektronů byl v této fázi řešení projektu využit ionizační vakuometr, jehož katoda byla žhavena zdrojem konstantního proudu. Urychlení elektronů na požadovanou energii bylo dosaženo připojením zdroje vysokého napětí mezi kostru aparatury (pracovní zem) a vlastní žhavené vlákno. Výhodou tohoto uspořádání je, že žádný obvod spojený s Faradayovým válcem není na vysokém napětí. Další výhodou je, že emitované elektrony jsou urychlovány směrem ke stranám vakuové komory a generují na nich sekundární elektrony. Tím se vytváří pozadí nízkoenergetických elektronů a výsledné energetické rozdělení je bližší tomu, které je možné očekávat v realných podmínkách našeho experimentu. Protože však nebyla stabilizována emise z vlákna, je využit pro měření jako míra emise proud tekoucí mřížkou vakuometru do země, tj. napětí na rezistoru, přes který je spojena se zemí (viz obr. 2). Závislost tohoto napětí (U_{em}) na urychlovacím napětí je na obrázku 5. Pokles napětí v okolí 100 V je pravděpodobně způsoben ionizací. Je zřejmé, že použití elektronového děla, které by mělo definovanou emisi svazku a umožňovalo měnit rozměry a podmínky svazku by sice zdánlivě zpřesnilo naše výsledky, ale neodhalilo by problémy, se kterými je nutno počítat v reálném experimentu.

Výsledky měření

Referenční Faradayův válec

V první fázi bylo provedeno měření na referenčním Faradayově válci. Jeho předností jsou jeho větší rozměry a precizně provedená konstrukce, díky čemuž má lépe definované geometrické poměry a také tlak uvnitř válce je díky větším rozměrů lépe definován. Pro účel, ke kterému byl válec konstruován, je zajímavá především oblast nad $E = 100$ V a budeme tedy diskutovat hlavně tuto část charakteristiky. Na válci jsme provedli měření závislosti proudu kolektorem I_k a první mřížkou I_1 na urychlovacím napětí elektronů E při napětí -40 V na první mřížce a 0 V na mřížce druhé. Tyto závislosti jsou zobrazeny v obrázku 6. Z naměřených závislostí je vidět nárůst elektronového proudu kolektoru se vzrůstajícím urychlovacím napětím E (tj. s energií svazku). Je možno předpokládat, že tento vzrůst je způsoben vzrůstem koncentrace elektronů v okolí měřeného válce vlivem vzrůstající sekundární emise z povrchů, které válec obklopují.

Zajímavá je závislost proudu první mřížkou, která v okolí $E = 100$ V mění znaménko. Znamená to, že mřížka registruje při nižších urychlovacích napětích převahu elektronů, ale při větších napětích převažují ionty.

Proud druhou mřížkou I_2 (obr. 7) vykazuje napřed vzrůst (pro $E = 100 - 300$ V) a potom proud začíná mírně klesat. Počáteční nárůst odpovídá nárůstu koncentrace elektronů v okolí válce (viz výše). Pro větší energie je tento narůstající elektronový proud kompensován jednak vzrůstajícím iontovým proudem (viz proud I_1), jednak sekundární emisí z mřížky, která roste s rostoucí energií elektronů.

Vliv nízkoenergetických elektronů a iontů na proudy elektrodami válce je možno ocenit pomocí měření stejných charakteristik při změněném potenciálu druhé mřížky. Pro následující sérii měření jsme tedy změnili její potenciál na +98 V. Odpovídající závislosti jsou uvedeny na obrázcích 8 a 9. Potenciál druhé mřížky ani kvalitativně ani kvantitativně nemění hodnoty proudů kolektorem a první mřížkou, jak je vidět porovnáním obrázků 6 a 8, pouze proud druhou mřížkou vzrostl zhruba o řád (obr. 9).

Porovnáním těchto dvou sérií měření umožňuje konstatovat, že v oblasti energií nad 100 eV:

1. kolektorový proud je způsoben elektrony svazku,
2. kladné proudy první mřížky jsou způsobeny ionty vznikajícími uvnitř válce,
3. proudy vyvolané elektrony nízkých energií, které tečou na druhou mřížku, řádově převyšují elektronový proud kolektoru.

Proudy by bylo možno normovat na emisní proud, ale výsledky by se tím podstatně nezměnily (rozhodně se nezmění jejich trend).

Pracovní Faradayův válec

Na námi navrženém Faradayově válci byla provedena obdobná měření jako na válci referenčním, tj.: $U_1 = -40$ V, $U_2 = 0$ V (resp. +100 V), $U_3 = 0$ V. Výsledky měření jsou na obrázcích 10 a 11. Opět je zde vidět veliký nárůst záporného proudu na druhé mřížce. Proud třetí mřížkou poklesl, což by mohlo být způsobeno prosakováním kladného potenciálu druhé mřížky, který by vytahoval elektrony, jež by jinak skončily na třetí mřížce. Tento efekt se nemohl projevit na referenčním válci, protože v něm jsou pracovní mřížky mezi sebou odstíněny další mřížkou, která je na nulovém potenciálu. Takovéto mřížky nebylo možno do pracovního válce umístit pro nedostatek místa. Kolektorový proud se zdá být téměř neovlivněný. Podstatný rozdíl vůči referenčnímu válci je v kolektorovém proudu. Zatímco v referenčním válci proud stále narůstá s rostoucí energií elektronů, v měrném válci je maximum tohoto proudu okolo $E = 50$ V a od $E = 100$ V se již téměř nemění. Podstatné ovšem je, že se nezmění ani proud vstupní mřížkou (I_3). To naznačuje, že podmínky v okolí pracovního válce zřejmě nekopírují zcela přesně podmínky v okolí referenčního válce, kde proud vstupní mřížkou narůstá.

Pro úplnost jsou přiloženy i obrázky 12 a 13, které zobrazují závislosti proudů jednotlivých elektrod pracovního válce na urychlovacím napětí normované na emisní proud. Je vidět, že tato normalizace nevede k podstatným změnám v závislostech.

Závěr

Měření na referenčním i pracovním válci potvrdila, že kolektorový proud je možno užít jako indikátor proudu elektronového svazku. Rozbor měření zároveň ukazuje, že při úvahách o velikosti proudů na jednotlivé elektrody válce není možno zanedbat vliv sekundárních elektronů generovaných na površích vně válce. Přes relativně nízký tlak ve vakuové aparatuře se ukazuje, že i vliv ionizace vně a dokonce i uvnitř válce může proud elektrodami silně ovlivnit. Pro další použití válce je podstatné, že tyto vlivy se neprojevují na proudu kolektorem.

Diskusi oblasti nízkých energií svazku není možno provést bez dodatečných měření.

Literatura

[**1**] Žilavý P., Sternovský Z., Čermák I., Němeček Z., Šafránková J., Surface potential of small particles charged by the medium-energy electron beam, *Vacuum*, **50**, No.1-2, 1998, 139-142.

[**2**] Šafránková J., Zastenker G., Němeček Z., Fedorov A., Simerský M., Přech L., Small scale observation of the magnetopause motion: Preliminary results of the INTERBALL project, *Annales Geophysicae*, **15**, No.5, 1997, 562-569.