

Hmotový spektrometr Ústavu fysikální chemie ČSAV

VLADIMÍR ČERMÁK, VLADIMÍR HANUŠ a MIROSLAV PACÁK
Ústav fysikální chemie Československé akademie věd, Praha

621.384.8

Stručný popis konstrukce hmotového spektrometru Nierova typu s úpravami, které umožnily širší použitelnost přístroje, a s pomocným vybavením pro napájení elektrických obvodů, pro kontrolu chodu přístroje a pro registraci záznamu hmotových spekter. Vlastnosti zařízení byly ověřeny několika lety praktického používání.

Hmotová spektrometrie byla do nedávna oborem, v němž se u nás vůbec nepracovalo, ačkoliv četné problémy by byly hmotovým spektrometrem dobře řešitelné, hlavně v oblasti analýzy plynné fáze a přesného měření poměru isotopů [1—3]. Přístroje nebylo možno dovážet. Situace se změnila v r. 1953, když byla dokončena stavba hmotového spektrometru v Ústavu fysikální chemie ČSAV. Později byl sestaven hmotový spektrometr také ve VÚVETu [4]. Funkce přístroje v Ústavu fysikální chemie byla dobře ověřena několikaletým provozem a použitím k analýzám, ke stanovení isotopických poměrů i k jiným účelům, a proto je dnes možno věcně referovat o konstrukčních podkladech a dosažených výsledech.

V hmotové spektometrii jde v podstatě o přesné měření množství kladně nebo záporně nabitéh iontů o určitému poměru hmoty a náboje, $\frac{m}{e}$. Konstrukce přístroje je proto zaměřena na tuto funkci na rozdíl od hmotových spektrografů, kterými se přesně určuje hmota iontů. Rozlišovací schopnost hmotových spektrometrů je proto menší a jejich iontová optika je jednodušší. Zato se kladou velké požadavky na citlivost a reproducitelnost měření malých iontových proudu řádu 10^{-10} až 10^{-15} A, v některých případech až 10^{-19} A, a na správnou funkci zdroje iontů. K ionisaci atomů a molekul plynů a par používá určitá skupina přístrojů elektrony, vznikající termoemisí. Zdroj iontů produkuje monoenergetické ionty, které je možno rozlišit podle poměru $\frac{m}{e}$ v magnetickém poli. Tyto typy spektrometrů jsou v použití značně universální a jsou prozatím nejvíce propracovány a provozně vyzkoušeny. Jiné přístroje, tzv. dynamické, v nichž elektrické nebo magnetické pole je časově rychle proměnné, mají použití omezenější a speciálnější [5].

Pokud jde o vakuovou část a konstrukci zdroje, je hmotový spektrometr Ústavu fysikální chemie ČSAV — jako většina soudobých přístrojů — podoben přístroji A. O. Niera [6]. Některé části však byly řešeny odlišně a řada elektronických obvodů je zcela původní konstrukce. Protože smyslem tohoto článku není podrobně popisovat konstrukci jednotlivých částí, zmíníme se spíše o rozdílech vzhledem k Nierově typu.

Jednotlivé části přístroje

- Trubice vyčerpávaná na vysoké vakuum, v níž je umístěn zdroj a sběrač iontů.
- Zdroj iontů.
- Sběrač iontů, který zachycuje ionty o určitému poměru $\frac{m}{e}$, rozdělené v magnetickém poli.
- Elektromagnet k analýze iontů podle poměru $\frac{m}{e}$.

5. Pomocný elektromagnet k fokusaci ionisujících elektronů ve zdroji iontů (zdrojový magnet).

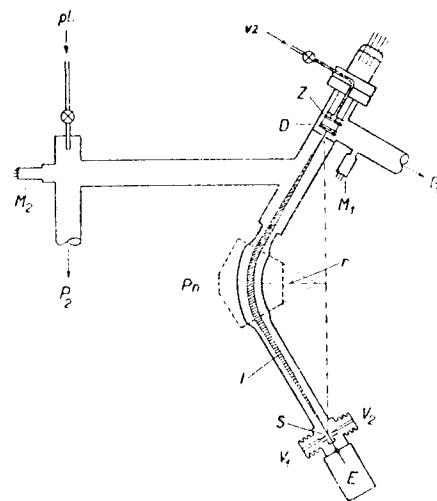
6. Vysokovakuové čerpací zařízení s měridly vakua.

7. Zařízení k dosování analysovaných vzorků a ke vpuštění vzorků do iontového zdroje.

8. Elektronické obvody hlavní.

9. Elektronické obvody pomocné.

1. Trubice je sestavena místo z inconelu z měděných trubek 49/45 a 33/30 normální obchodní jakosti (obr. 1).



Obr. 1. Schéma trubice hmotového spektrometru.

Z - zdroj iontů, S - sběrač iontů, P₁, P₂ - přívody k difusním vývěvám, M₁, M₂ - vakuové měrky, D - diafragma, P_n - pólové nastavice, E - část s elektromagnetickou tetradou a vysokochlumnými odpory, I - iontový svazek fokusovaný směrové, V₁, V₂ - výrovec pro přenos posuvu štěrbiny, rz - přívod vzorků do zdroje, pl - přívod plynu do trubice pro studium disociace srázkou, r - poloměr dráhy centrálního paprsku rovný 152 mm.

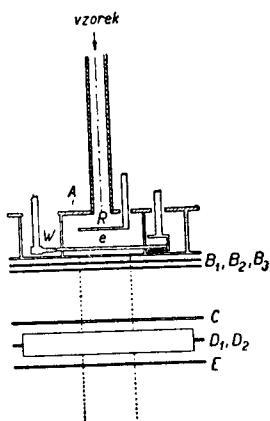
V nynější úpravě je prostor zdroje oddělen od ostatního prostoru trubice diafragmou s otvorem $12 \times 0,5$ mm a obě části trubice se čerpají samostatně difusními vývěvami. Otvor v diafragmě umožňuje iontům průlet do magnetického pole, ale podstatně omezuje proudění plynů z prostoru zdroje do trubice, které by vedlo k zvýšení tlaku v trubici a k defokusaci iontového svazku na dráze ke sběrači iontů srázkami s neutrálními molekulami.

Tímto uspořádáním, které mají všechny dnešní hmotové spektrometry, jsme řádově zvýšili citlivost přístroje, protože při určování malých koncentrací látek řádu 10^{-4} % a menších je možné vpuštět vzorky do zdroje pod vyšším tlakem než dříve.

Zvětšuje-li se tlak v trubici úmyslně vpuštěním plynů o různé molekulární váze, umožňuje toto uspořádání s dvojím čerpáním studovat disociaci urychlených iontů

srázkami s neutrálními částicemi a procesy přenosu náboje [7].

2. V přístroji bylo použito zdroje iontů Nierova typu (obr. 2). Při zkouškách se ukázalo účelným mít možnost připojit odchylovací destičku D_2 (obr. 2) ne pouze na

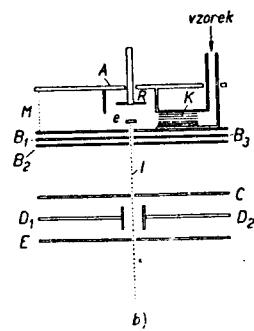


Obr. 2a. Schéma iontového zdroje Nierova typu (řez rovnoběžný se směrem proudu elektronů).

vzorek - původ vzorků, W - wolframové vlákno, e - srazech fokusovaných elektronů, R - destička k vypuzování iontů (repeler), A - svazek iontů, C - ionizační komora, B_1 , B_2 , B_3 , D_1 , D_2 , E - destičky se štěrbinami s potenciály k vytážení a urychlení iontů. V normálním případě mají destičky potenciály: A + 1800 V, R + 1800 V, B_1 , B_2 1630 V, B_3 1615 V, $C D_1$, E uzemněny, D_2 + 33 V.

poměrně velký potenciál jediné hodnoty (při kontrole nuly zesilovače) [6], ale na proměnný potenciál, a tím získat možnost centrovat iontový svazek na výstupní štěrbinu a omezit tak rušivý vliv rozptylových polí magnetů na dráhu iontů o různé hmotě. Optimální potenciál destičky D_2 pro průchod iontů např. Ne^+ a H_2^+ se liší asi o 85 V (podle intenzity pole zdrojového magnetu a energie iontů). Do ionizačního prostoru jsme umístili také destičku R (tzv. repeller), na niž je možno vkládat volitelné kladné nebo záporné malé napětí (0 až 80 V), abychom mohli sledovat vliv tohoto napětí na výdatnost zdroje a určovat veličiny, nutné ke studiu reakcí pomalých iontů s molekulami [8].

Vzorky z dosovacího systému vstupují do zdroje podélno u štěrbiny v profilované skleněné trubici. Sestavili jsme také kapilární trysku pro napouštění vzorků ve formě molekulárního paprsku [9]. Při stejném množ-



Obr. 2b. Iontový zdroj s molekulární tryskou (řez kolmý ke směru proudu elektronů). Označení jako na obr. 2a. K - kapiláry, M - mřížka k omezení průniku elektrostatického pole do zdroje.

ství plynu vstupujícímu do zdroje klesla při použití trysky podle obr. 2b intenzita iontového proudu jen asi o $\frac{2}{3}$.

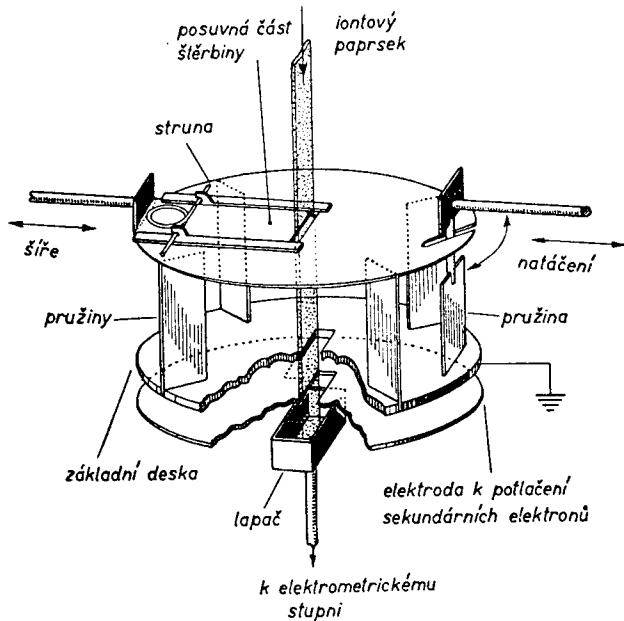
Molekulární tryska má velký význam v případech, kdy se mají omezit např. pyrolytické reakce na žhavém emisním vlákně, zmenšit adsorpce analysovaných látek na povrchu destiček ve zdroji nebo omezit reakce přenosu náboje, protože usměrnění toku se zmenší počet srážek molekul s vláknem, se stěnami ionizačního prostoru a s ionty na jejich dráze iontovým zdrojem.

Destičky zdroje byly zhotoveny místo ze slitiny NiCr z plechu z chromnicklové oceli AKVN tloušťky 0,3 a 0,6 mm. Wolframové emisní vlákno má rozměry $10 \times 0,8 \times 0,06$ mm. Zdroj funguje spolehlivě. Jeho vy-

datnost, definovaná jako poměr množství iontů určité hmoty, dopadajících na sběrač iontů i_s , k množství iontů této hmoty, vzniklých v prostoru ionisace Σi , $\frac{i_s}{\Sigma i}$, se pohybuje od 5 do 10 % (v závislosti na přesnosti sestavení celého zdroje).

3. Sběrač iontů (obr. 3) je konstruován tak, že šířku štěrbiny lze měnit od 0 do 1,5 mm a štěrbu lze natáčet v rovině destičky kolem jejího středu. Rozšířováním štěrbiny je možno měnit rozlišovací schopnost přístroje teoreticky od 500 do 85.

4. Elektromagnet má magnetický obvod z magneticky měkké oceli Poldi ARC Special. Cívky mají úhrnem 50 000 závitů měděného drátu $\varnothing 0,45$ mm a odpornost 2920 Ω . Jsou zapojeny v sérii. Intensita pole je prakticky přímo úměrná počtu ampérzávitů v celém pracovním rozsahu do 5500 G. Remanence činí až několik set G, ale lze ji změnit na zanedbatelnou hodnotu demagnetiza-



Obr. 3. Schéma zařízení k rozšířování a natáčení štěrbiny před sběračem iontů.

sací střídavým proudem. Elektromagnet je uložen tak, že jím lze snadno posunovat v horizontální rovině dopředu a dozadu a naklánět jej ve všech rovinách. Při správné směrové fokusaci iontového svazku je vrchol úhlu půlových nástavek vzdálen od spojnice výstupní štěrbiny zdroje a výstupní štěrbiny sběrače o 25 mm, tj. o $1,78 d$, je-li šířka d vzdutkové mezery mezi póly magnetu rovná 14 mm.

5. Pro fokusaci elektronů v iontovém zdroji jsme použili elektromagnet místo permanentního magnetu, protože jsme sledovali různé závislosti výdatnosti zdroje, rozlišovací schopnosti ap. na intenzitě magnetického pole. V normálních případech je intenzita pole uprostřed půlových nástavek čtvercového průřezu 24×24 mm vzdálených 53 mm asi 200 G a střed půlových nástavek vzdálen od výstupní štěrbiny zdroje o 27 mm. Siločáry probíhají rovnoběžně se směrem toku elektronů. Také zdrojovým magnetem je možno posunovat po osi rovnoběžně s osou trubice a naklánět a otáčet jej kolem osy trubice.

6. Difusní pumpa, která čerpá trubici, má čerpací rychlosť 15 l/s (Leybold, model E), vymrazovačka vodi-

vost 11 l/s. Je chlazena směsí tuhého CO_2 s ethylalkoholem. Difusní pumpa pro čerpání prostoru zdroje má čerpací rychlosť asi 40 l/s. Vymrazovačka je chlazena tekutým dusíkem a má vodivost 14 l/s. Vakuum v trubici a prostoru zdroje se měří ionizačními vakuometry (obr. 1).

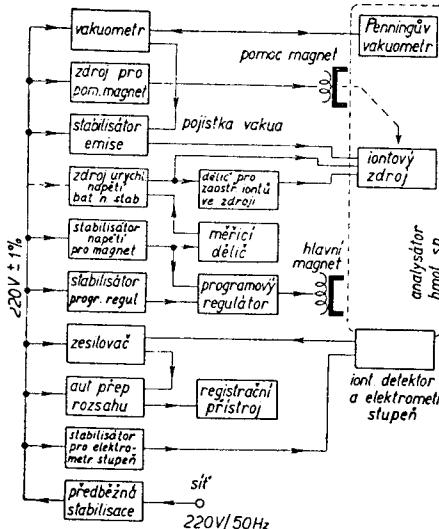
7. Dosovací zařízení je skleněné. Kohouty jsou mazány silikonovým tukem. Zařízení se dá elektricky vyhřívat (topnými spirálami) k omezení adsorpce vzorků. Vpouštěcí otvory mají vodivost $4,5 \cdot 10^{-3}$ l/min.

8. Blokové schéma elektronických obvodů a celkového zapojení je na obr. 4.

Elektronické obvody

Jednotlivé obvody jsou:

a) stabilisátor emise vlákna nebo ionisujícího proudu elektronů,



Obr. 4. Blokové schéma.

b) zdroj napětí pro urychlení iontů a napětí fokusačních elektrod,

c) stabilisátor napětí pro hlavní elektromagnet a regulátor proudu v magnetu,

d) stejnosměrný zesilovač iontových proudů s registrátorem,

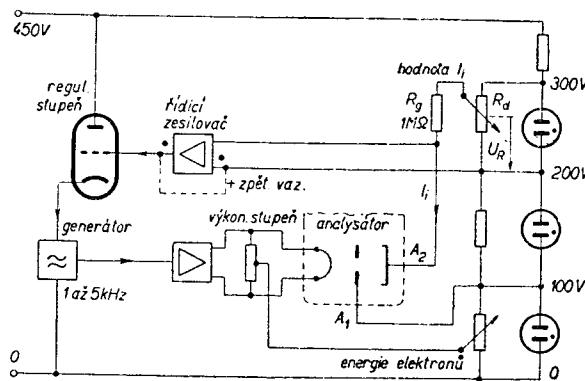
e) automatický volič citlivosti regulačního přístroje,

f) pomocné obvody, jako zdroj napětí pro zdrojový elektromagnet, obvody pro ionizační vakuometry a pojistná zařízení.

a) Stabilisátor emise

Byly sestaveny dva různé stabilisátory. Nejprve stabilisátor celkového emisního proudu, a později, když se ukázalo účelnějším stabilisovat místo celkové emise jen proud elektronů procházejících ionizačním prostorem a dopadajících na lapač (proud ionisujících elektronů) (obr. 2a), také tento stabilisátor.

Stabilisátor celkové emise je typu *Ridenour-Lampsonova* [10] a byl již vícekrát popsán [6, 11]. Obvod vyhovuje, ale při změnách emisních podmínek způsobených

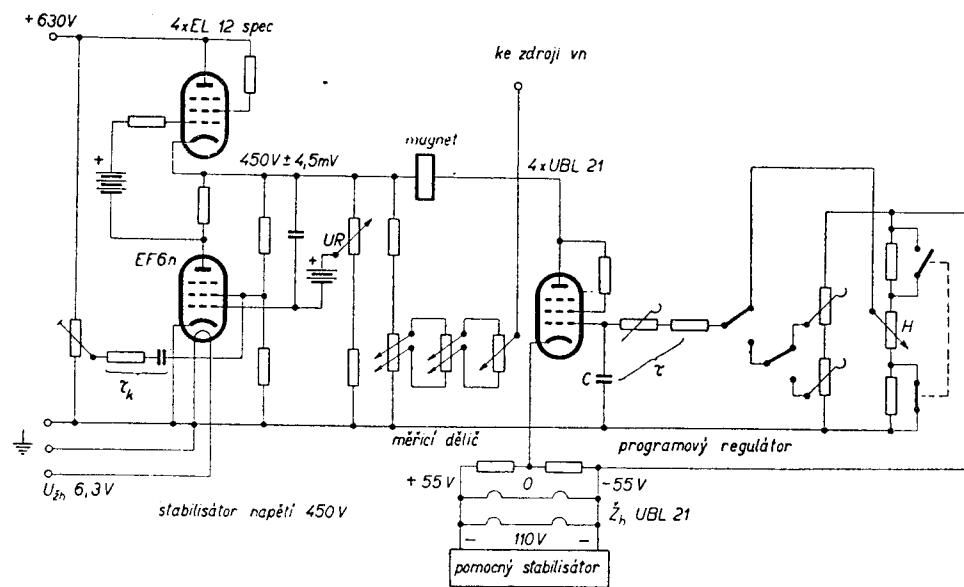


Obr. 5. Schéma stabilisátoru proudu ionisujících elektronů.

různými analysovanými látkami, které zvyšují nebo snižují emisní schopnosti vlákna, není bez ručního do-regulování zaručeno, že proud ionisujících elektronů bude mít vždy stejnou hodnotu (vlivem tepelných dilatací držáků vlákna a samotného vlákna a tím také malých polohových změn vlákna). Emisní proud má také střídavou složku 100 Hz, protože katoda, pracující v oblasti nasycení, se žhaví střídavým proudem 50 Hz a její teplota kolísá.

Stabilisátor proudu ionisujících elektronů byl v Ústavu fyzikální chemie vyvinut samostatně. Používá ke žhavění vlákna střídavého proudu o frekvenci nastavitelné v rozmezí 1000 až 5000 Hz, kdy už tepelná setrvačnost katody kolísání teploty dostatečně omezí. Podstatu přístroje znázorňuje obr. 5.

Ionisující proud I_i vytváří na odporu R_g napětí I_i . R_g . Toto napětí je porovnáváno se stálým referenčním napětím U_R ; rozdíl obou je obrazem proměnné složky (kolísání) proudu I_i . Po zesílení v řídícím zesilovači působí změněný rozdíl na regulační stupeň, přes který je napájen budící generátor. Přibližně sinusové napětí generátoru je v dostatečně širokém rozmezí přímo úměrné napájecímu



Obr. 6. Schéma regulátoru proudu v magnetu.

napětí z regulačního stupně. Střídavým napětím generátoru je buzen dvojčinný výkonový stupeň, který dodává energii pro žhavení katody. Obvod je uspořádán tak, že působí stabilizačně, takže jsou potlačeny všechny odchylky I_1 kromě těch, které zavádíme úmyslně změnou U_R nastaveném potenciometru R_d . V řídicím zesilovači bylo využito předností kladné zpětné vazby podle zásad uvedených v práci [12].

b) Zdroj urychlovacího napětí a napětí fokusačních elektrod

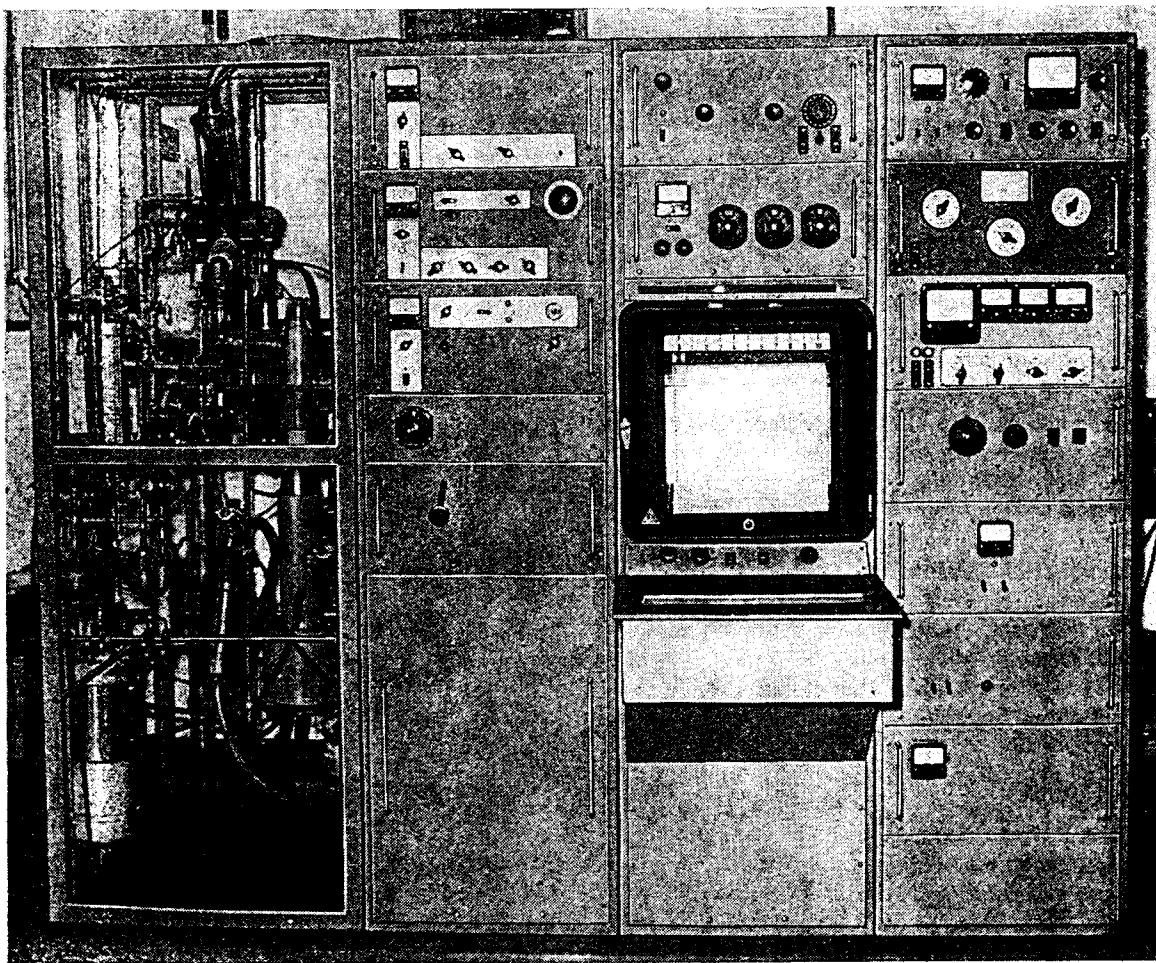
Byly sestaveny dva zdroje: bateriový a elektronicky stabilisovaný. Bateriový zdroj používá baterie rozhlasového typu 120 V, které jsou uloženy v bezpečném uspořádání v izolované kostře a jsou spojeny do série. Přepínačem je možno nastavit potřebné napětí až do 2000 V po stupních asi 120 V. Bateriový zdroj je jednoduchý a spolehlivý, má však značné rozměry a váhu. Proto byl během času nahrazen elektronkovým stabilisátorem. Aby provozní vlastnosti stabilisátoru nebyly vykoupeny rozumným referenčním zdrojem, bylo navrženo a vyzkoušeno zapojení stabilisátoru s výstupním napětím souvisle nastavitelným od 250 do 2350 V, v němž pro uspokojivé výsledky (stálost napětí lepší než 10^{-4}) stačí jako referenční zdroj obyčejná suchá baterie 4,5 V [13].

Zdroj napětí se připojuje do série s napětím potenciometru, napájeného stabilisátorem napětí pro hlavní magnet. Tento dělič, označený jako měřicí (obr. 4 a 6) umožňuje měnit urychlovací napětí v iontovém zdroji ve stupních po 0,10 V v rozsahu 400 V, nebo 0,05 V v rozsahu 200 V při kterémkoliv urychlovacím napětí a je určen především k zaznamenávání iontového proudu určité hmoty při konstantní hodnotě magnetického pole a k přesnému proměřování tvaru proudových výchylek (peaků) bod po bodu.

Dělič napětí pro jednotlivé elektrody v iontovém zdroji se liší od děliče Nierova tím, že obsahuje pomocný zdroj napětí ± 80 V s potenciometrem pro elektrodu R v iontovém zdroji (obr. 2a) a zdroj napětí ± 450 V s potenciometrem pro odchylovací napětí na destičce D_2 .

c) Stabilisátor napětí pro hlavní elektromagnet a regulátor proudu v magnetu

Spojité, přiměřeně pozvolné měnění magnetického pole, potřebné pro záznam hmotových spekter, umožňuje obvod podle obr. 6. Skládá se ze stabilisátoru napětí, dále z regulátoru proudu zapojeného do série s vinutím magnetu a z pomocného stabilisátoru pro žhavení regulačních elektronek. Oba stejnosměrné stabilisátory jsou degenerativního typu a využívají vlivu nestabilisovaného



Obr. 7. Celkový pohled na přístroj.

Vlevo: trubice spektrometru s příslušenstvím. V levé skříni shora: obvody elektrometrického stupně a jeho napájecí stabilisátor — stejnosměrný zesilovač s kontaktním modulátorem — automatický prepínací rozsahu — zdroj vysokého napětí 2200 V (bateriový). V prostřední skříni: fokusační dělič — měřicí dělič — registrační přístroj MAW EPP 09, rozsah 100 mV — manipulační pult s vesta-

věnými měřidly urychlovacího napětí a proudu v hlavním magnetu. V pravé skříni: napájecí obvod pro zdrojový magnet — ionizační vakuometry — stabilisátor proudu ionisujících elektronů — programová a řídicí část obvodu hlavního magnetu — pomocný stabilisátor žhavení — stabilisátor napětí pro hlavní magnet — usměrňovač pro stabilisátor napětí.

žhavicího napětí zesilovací elektronky na stálost výstupního napětí v úpravě podle *Ellenwooda* [14].

Stabilisátor napětí pro magnet má napětí 450 V, proud až 125 mA. Při použití anodových baterií jako referenčního zdroje U_R je nestálost výstupního napětí asi 10^{-5} při kolísání vstupního střídavého napětí $\pm 10\%$. Při plném odběru proudu je střídavý zbytek asi 5 mV.

Regulační obvod proudu v magnetu tvoří čtyři elektronky UBL21, zapojené paralelně jako triody; napětí jejich řídicích mřížek se spojí mění ve zvoleném oboru napětí ($U_{g1} - U_{g2}$) rychlostí, určenou útvarem RC (obr. 6). Tím se vytváří regulační program. Elektronky regulátoru jsou žhaveny z pomocného stabilisátoru napětí ± 55 V, jehož se používá zároveň pro programový útvar v mřížkovém obvodu.

V současné době je používán nový stabilisátor se zvětšeným výkonem pro dosažení větší intenzity pole hlavního magnetu (proud až 250 mA). Programová část využívá opět nabíjení kondensátoru přes odpor, je však sdržena přímo s hlavním regulačním obvodem stabilisátoru [15].

d) Elektrometrický zesilovač iontových proudu

K měření iontového proudu a k registraci hmotových spekter používáme elektrometrickou soustavu s klasickým elektrometrickým stupněm v zapojení podle *Bartha* [16] a zesilovačem se silnou zápornou zpětnou vazbou. Tím je dosaženo zkrácení časové konstanty vstupního obvodu a rozšíření lineární oblasti měření iontového proudu na rozsahy v poměru 1 : 300 (tj. 100 mV až 30 V pro plnou výchylku). Je možno také použít robustní měřicí přístroje, např. registrační přístroj na principu automatického kompenzátoru Regula nebo EPP 09 (NDR). Použitý klasický elektronkový elektrometr je konservativním řešením úkolu; přesto bylo dosaženo velmi dobrých výsledků: střední kvadratická hodnota šumu odpovídá asi $1 \cdot 10^{-15}$ A.* dlouhodobá stálost obvodu 10 mV/hod.

Původně bylo použito stejnosemenného třistupňového zesilovače s poměrně velkými katodovými odpory jako symetrisačním prvkem a záporně napojenými odporovými děliči nebo lépe destičkovými anodovými bateriemi jako prvky vazebními. Celá soustava byla napájena z akumulátorů a baterií.

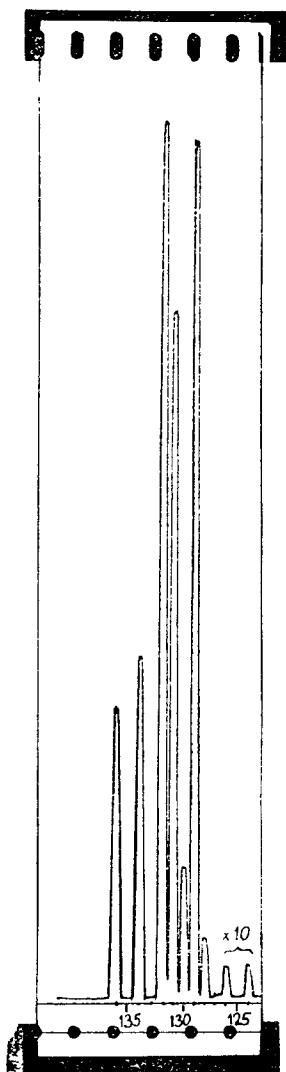
Nyní se signál z elektrometrického stupně zesiluje v zesilovači s modulací kontaktním modulátorem. Po zesílení je signál demodulován diodovým fázovým detektorem. Použitá úprava umožňuje dosáhnout lineárního rozsahu signálu 1 mV až 100 V na výstupní straně, zesílení ve smyčce zpětné vazby až 10 000 a prakticky dokonalé stálosti při napájení přímo ze sítě [17]. Bateriové napájení vlastního elektrometrického stupně bylo nahrazeno napájením z elektronkového stabilisátoru [18].

e) Automatický volič citlivosti registrátoru

Elektrometrická soustava byla doplněna automatickým přepínačem rozsahů pro urychlení záznamu a proměrování hmotových spekter [19]. Přístroj nastaví samočinně a dosti rychle vhodný rozsah podle velikosti právě měřeného iontového proudu, takže záznam na registračním přístroji zůstává ve stupnici a má vhodnou velikost. Současně se zaznamená nastavený rozsah na okraji záznamu spektra, takže je usnadněno jeho správné vyhodnocení. Přístroj má přepínač rozsahu, poháněný servo-

motorkem nebo ručně; do něho vstupuje signál S_c z elektrometrického zesilovače a je podle nastavené polohy přepínače redukován na hodnotu S_r , která je vedena do registračního přístroje. Současně je hodnota S_r vedena do elektronkového diskriminátoru, který zjišťuje, zda je pod, mezi nebo nad dvěma určitými mezními hodnotami. Diskriminátor uvede v chod servomotor, který otáčí přepínačem rozsahu v takovém směru, aby redukovaný signál ležel mezi uvedenými mezními hodnotami, které určují optimální měřicí obor registračního přístroje. Přepínač je spojen s vysílačem polohy a jeho údaj se elektricky přenáší na stupňový registraci mechanismus pro záznam rozsahu.

Celkový pohled na přístroj je na obr. 7. Je to typ určený k použití v laboratoři. Jednotlivé elektronické obvody jsou sestaveny v jednotky vyjmateľné jako celek z panelového stojanu, a dosovací zařízení není řešeno jako samostatná část s universálním použitím (pro plyny a kapaliny) jako u komerčních typů, ale upravuje



Obr. 8. Hmotové spektrum isotopu xenonu.

Šířka výstupní štěrbiny ze zdroje iontů 0,3 mm, šířka štěrbiny sbírače iontů 0,65 mm. Dosažená rozlišovací schopnost (asi 135) je rovná 85 % teoretické hodnoty.

se podle potřeby a povahy práce. Příklad záznamu, ověrující rozlišovací schopnost, je na obr. 8.

Závěr

Přístroj jako celek pracuje spolehlivě. Byl použit k analýzám vzácných plynů [20], kontrolám čistoty plynů, rozborům směsí organických látek [21], stanovení isotopického poměru ^{14}N — ^{15}N , ^{16}O — ^{18}O [22, 23], k studiu struktury iontů v plynné fázi [24, 25], k sledování reakcí iontů s molekulami [26] ap. Dosažené výsledky a zkoušenosti nemohou být bohužel uplatňovány v širší míře, protože v Ústavu fyzikální chemie nejsou výrobní možnosti pro stavbu více kusů. Může jich však být využito při návrzích zdokonalených typů v některém výrobním závodě a k srovnání s výsledky z jiných pracovišť v hmotové spektrometrii u nás.

[29. 4. 1959]

Literatura

- [1] Rik, G. R.: Mass spektroskopija. Moskva: Gostechizdat 1953.
- [2] Ewald, H. - Hintenberger, H.: Methoden und Anwendungen der Massenspektroskopie. Weinheim 1953.
- [3] Barnard, G. P.: Modern Mass Spectrometry. London 1954.

* Ve stojanu přístroje je vlivem otřesů stabilita o něco menší (asi $3 \cdot 10^{-16}$ A).

- [4] Ondráček, M.: Slaboproudý Obzor **16** (1955), str. 593
17 (1956), str. 517.
- [5] Podskalský, E.: Slaboproudý Obzor **16** (1955),
str. 140.
- [6] Nier, A. O.: Rev. Sci. Instr. **18** (1947), str. 398.
- [7] Wells, G. F. - Melton, C. E.: Rev. Sci. Instr. **28**
(1957), str. 1065.
- [8] Stevenson, D. P. - Schissler, D. O.: J. Chem. Phys.
29 (1958), str. 282.
- [9] Zacharias, J. R.: Phys. Rev. **94** (1954), str. 751.
- [10] Ridenour, L. N. - Lampson, C. W.: Rev. Sci. Instr.
8 (1937), str. 162.
- [11] Graham, R. L. - Harkness, A. C. - Thode, G. H.:
J. Sci. Instr. **24** (1947), str. 119.
- [12] Pacák, M.: Slaboproudý Obzor **18** (1957), str. 583.
- [13] Pacák, M.: Slaboproudý Obzor **20** (1959), str. 306.
- [14] Ellenwood, G. J.: J. Res. Nat. Bur. Stand. **43** (1949),
str. 251.
- [15] Pacák, M.: Electronic Engineering (v tisku).
- [16] Barth, G.: Z. Physik **87** (1934), str. 399.
- [17] Pacák, M. - Hládek, L.: Slaboproudý Obzor **20** (1959),
str. 423.
- [18] Pacák, M.: Slaboproudý Obzor **19** (1958), str. 836.
- [19] Pacák, M.: Slaboproudý Obzor **19** (1958), str. 62.
- [20] Čermák, V.: Chem. průmysl **7** (1957), str. 8.
- [21] Čermák, V. - Hanuš, V.: Chem. průmysl **9**, **34** (1959),
str. 235.
- [22] Zeman, A. - Čermák, V.: Chem. listy **51** (1957), str. 818.
- [23] Černá, J. - Šorm, Fr. - Čermák, V.: Chem. listy **51**
(1957), str. 1932.
- [24] Hanuš, V. - Čermák, V.: Collection **24** (1959), str. 1602.
- [25] Hanuš, V.: Nature (v tisku).
- [26] Čermák, V. - Hermann, Z.: Collection (v tisku).

Масс - спектрометр Института физической химии ЧСАИ. Краткое описание конструкции модификации масс-спектрометра Нира, позволяющей более широкое применение прибора, со вспомогательным оборудованием для питания электрических цепей, для контроля работы прибора и для записи спектров масс. Свойства установки были проверены в течение нескольких лет при практической эксплуатации.

Massenspektrometer des Institutes für physikalische Chemie der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften (ČSAV). Kurze Beschreibung der Konstruktion eines Massenspektrometers nach Nier einschliesslich Verbesserungen, welche eine Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten des Gerätes zu erzielen gestatten, sowie Hilfseinrichtungen zur Speisung der elektrischen Geräte, zur Kontrolle der Funktion des Spektrometers und zur Registrierung der Spektra. Die vorteilhaften Eigenschaften des Gerätes wurden während jahrelangen praktischen Betrieb unter Beweis gestellt.

The mass spectrometer of the Physical Chemistry Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences. A short description of the design of a Nier-type mass spectrometer is presented together with the modifications enabling the instrument to be used more universally; auxiliary equipment is described for feeding the electrical circuits, checking the functioning of the instrument, and registering the mass spectra. The qualities of the equipment have been confirmed by several years of practical use.

Spectromètre de masse de l'Institut de la Chimie Physique de l'Académie des Sciences Tchécoslovaque. Brève description de la construction du spectromètre de masse type de Nier avec accommodations qui ont permis une plus large application de l'appareil qui comporte un équipement accessoire pour l'alimentation des circuits électriques, pour le contrôle de la marche de l'appareil et pour l'enregistrement des spectres de masse. Les propriétés de l'installation ont été vérifiées par plusieurs années de l'utilisation pratique.