

3 Hledání netěsností

24. listopadu 2010

| Vakuová fyzika a technika, FJFI ČVUT v Praze | |
|---|---|
| Jméno: Vojtěch Horný | Datum měření: 19. listopadu 2010 |
| Pracovní skupina: 2 | Ročník a kroužek: 3. ročník, pátek 11:45 |
| Spolupracovali: Jaroslav Zeman, Jiří Slabý | Hodnocení: |

Abstrakt

Měření byla prováděna s několika vakuovými sestavami s čerpáním rotační olejovou vývěvou. Tlak byl měřen Piraniho odporovým manometrem. Pozorovali jsme vtahování výboje netěsností. Přesvědčili jsme se o změně barvy výboje, jsou-li a aparatuře přítomny páry různých organických sloučenin. Seznámili jsme se také s halogenovým a heliovým hledačem netěsností.

1 Úvod

Hledání netěsností je nedílnou součástí práce s vakuovými aparaturami. Netěsnosti v aparatuře způsobují zvyšování mezního tlaku a pokles rychlosti natékání. Při experimentech s vakuem je vhodné o netěsnostech v aparatuře vědět a v rámci možností je odstranit.

2 Pracovní úkoly

1. Najděte netěsnost na skleněné trubici pomocí vtahování výboje vakuové zkoušečky.
2. Ověřte změny zabarvení výboje ve skleněné trubici při ofukování netěsnosti heliem a při přikládání tamponu smočeného v lihu, isopropylalkoholu a aceton k netěsnosti.
3. Ověřte, že přivedení helia nebo par lihu, isopropylalkoholu a acetonu k netěsnosti (lehce otevřený jehlový ventil) změní údaj tepelného vakuometru. Vysvětlete.
4. Ověřte funkci halogenového hledače netěsností přikládáním tamponu navlhčeného perchlorethylenem k lehce otevřenému jehlovému ventilu. Vysvětlete.
5. Seznamte se s heliovým hledačem netěsností. Uveďte jej do provozu. Než se v něm ustálí vakuum ($< 7 \times 10^{-3}$ Pa), seznamte se s duplikátem analyzační komůrky.
6. Změřte indukci magnetického pole permanentního magnetu He-hledače, Z rozměrů uspořádání v komůrce a zjištěné hodnoty magnetického pole určete napětí, jímž musí být urychleny ionty helia, aby byl detekovaný jejich signál.
7. Propojte heliový hledač netěsností a sestavu skleněného kříže (před spojením předčerpejte rotačkou!) a najděte netěsnosti na zmíněné sestavě.

3 Základní pojmy a vztahy

3.1 Metody indikace netěsností

Netěsnosti na skleněných částech aparatury často prozradí vtahování náboje vysokofrekvenční vakuové zkoušečky. Výboj proniká do vakua skrz pór ve skle. I při pohybech hrotu zkoušečky se šňůra výboje váže k netěsnosti.

Jiný způsob zjišťování netěsností je založen na různé barvě doutnavého výboje jednotlivých plynů či par kapalin. Místa, kde očekáváme netěsnost, ofukujeme vhodným plynem (He...) nebo potíráme některými kapalinami (líh, aceton, isopropylalkohol). Při vniknutí dané látky do aparatury pozorujeme změnu barvy výboje. Stanovení této změny je bohužel velice subjektivní. Dalším nedostatkem je možnost zamrznutí kapaliny a tím zamrazení netěsnosti.

K nalezení netěsnosti je možno také využít vysoké tepelné vodivosti vodíku nebo helia. Zvýšená koncentrace těchto plynů vyvolá vzrůst údaje na tepelném manometru. Při použití ionizačních manometrů se uplatňují různé ionizační účinné průřezy.

Halogenový hledač netěsností je založen na závislosti emise iontů alkalických kovů z horké platinové anody na přítomnosti halových prvků.

Nejcitlivější metodou je přímé měření obsahu testovaného plynu v experimentální aparatuře. Konkrétní plyn se detekuje zjednodušeným hmotnostním spektrometrem. Je výhodné používat lehké plyny, nejčastěji se používá helium.

Heliový hledač netěsností je samostatná vakuová komora, v jejíž analyzační komoře se ionizuje zbytkový plyn. Ze vzniklých iontů se separují ionty ^4He a měří se jejich množství. Netěsnost se ofukuje heliem. Při průniku helia netěsností do recipientu s malým zpožděním pozorujeme zvýšené množství iontů ^4He .

3.2 Chování nabitě částice v homogenním magnetickém poli

Na částici o náboji q pohybující se rychlostí \vec{v} v čistě magnetickém poli o magnetické indukci \vec{B} působí magnetická síla \vec{F}_m o velikosti a směru

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Jsou-li vektory \vec{v} a \vec{B} vzájemně kolmé, pak je k nim kolmý i vektor \vec{F}_m . Magnetická síla má potom velikost

$$F_m = qvB$$

a zakřivuje dráhu náboje. Nabitá částice se pohybuje po kruhové trajektorii o poloměru r . Při pohybu po kružnici působí na hmotný bod dostředivá síla o velikosti

$$F_d = \frac{mv^2}{r}$$

a směru do středu kružnice. Síly F_m a F_d jsou stejně velké, proto platí

$$qvB = \frac{mv^2}{r}. \quad (1)$$

Při urychlení napětím U získá nabitá částice energii qU . Ta se celá přemění na kinetickou energii. Platí tedy

$$qU = \frac{mv^2}{2}. \quad (2)$$

4 Pracovní postup a pozorované jevy

4.1 Detekce netěsnosti pomocí vysokofrekvenční vakuové zkoušečky

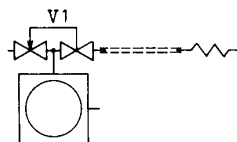
V sestavě na obrázku 2 jsme na konec vlnovce připojili skleněnou trubici s netěsností. Zapnutím rotační vývěvy a otevřením ventilu V1 jsme trubici vyčerpali. K trubici jsme přiložili hrot vysokofrekvenční zkoušečky. Netěsnost jsme objevili na vnějším konci trubice. Stopa výboje fialového neomylně směřovala k otvoru ve skle a prostupovala jím.

4.2 Změna zbarvení výboje

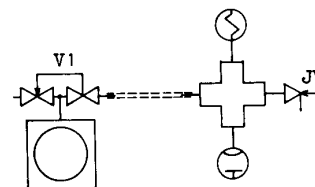
Poté jsme postupně ofukovali nalezenou netěsnost heliem a potírali postupně benzinem s lihem, acetonem a isopropylalkoholem. Pozorovali jsme doutnavé výboje velice podobných barev. Výsledky jsou shrnuty v tabulce na obrázku 1.

| látka | barva výboje |
|------------------|--------------|
| hélium | fialová |
| líh s benzinem | modrofialová |
| aceton | namodralá |
| isopropylalkohol | výboj zmizel |

Obrázek 1: Barva výboje v závislosti na druhu přítomných par nebo plynů.



Obrázek 2: Schéma sestavy pro vta-hování výboje do netěsnosti a barvení výboje



Obrázek 3: Schéma halogenového hledače netěsností

4.3 Změna chování tepelného manometru

Připravili jsme si aparaturu podle schématu na obrázku 3. Recipient ve tvaru kříže jsme začali čerpat rotační vývěvou. Pootevřeli jsme jehlový ventil tak, aby se v aparatuře ustálil tlak na 20, resp. 50 Pa. Vháněli jsme do čepaného objemu postupně hélium, páry líhu s benzinem, acetonu a isopropylalkoholu. Pokaždé jsme pozorovali nárůst tlaku na tepelném manometru. Míra tohoto vzrůstu je uvedena v tabulce 1.

| přivedená látka | chování při 20 Pa | chování při 50 Pa |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| helium | patrná zvýšení údaje manometru | patrné zvýšení údaje manometru |
| lih s benzinem | patrná zvýšení údaje manometru | patrné zvýšení údaje manometru |
| dimethylketon | nárůst tlaku na 80 Pa | nárůst tlaku na 300 Pa |
| isopropylalkohol | nárůst tlaku na více než 100 Pa | nárůst tlaku na 300 Pa |

Tabulka 1: Vliv přítomnosti různých látek v čerpané aparatuře na údaj na tepelném manometru

Největší nárůst byl tedy pozorován u isopropylalkoholu a dimethylketonu. Příkladám to zvýšení tepelné vodivosti směsi v čerpaném objemu. Vliv má také rychlost natékání těchto par do aparatury. Tato rychlost je u těchto par vyšší než u vzduchu. Jelikož se zvýšil tok plynu do aparatury, zvýšila se hodnota tlaku pro ekvilibrium.

4.4 Halogenový hledač netěsností

Připravili jsme aparaturu podle schématu na obrázku 3. Čerpali jsme recipient rotační vývěvou. Po ustálení tlaku jsme jemně pootevřeli jehlový ventil. Zapnuli jsme halogenový hledač netěsností a vyladili ukazatel do nulové polohy. Navlhčili jsme tampon perchlorethylenem a drže jej přitom v pinzetě jsme jej přikládali k netěsnosti. Pozorovali jsme signifikantní nárůst proudu, ukazatel vyletěl až mimo stupnici.

Tento nárůst byl způsoben zvýšenou emisí iontů alkalických kovů z horké platinové anody v důsledku přítomnosti chloru v perchlorethylenu.

4.5 Heliový hledač netěsností

Změřili jsme průměr kružnice, po které se pohybují ionty ^4He a magnetickou indukci permanentního magnetu v heliovém hledači. Tyto a ostatní parametry naleznete v tabulce 2. Pro výpočet urychlujícího

| veličina | hodnota | chyba určení |
|---------------------------|--------------------|--------------|
| B [mT] | 147 | 2 |
| r [mm] | 40 | 1 |
| $q/m(^4\text{He})$ [C/kg] | $2,39 \times 10^7$ | zanedbatelná |

Tabulka 2: Parametry heliového hledače netěsností

napětí z údajů v tabulce 2 vyjdeme ze vzorců 1 a 2. Vyjádříme z nich napětí U , obdržíme

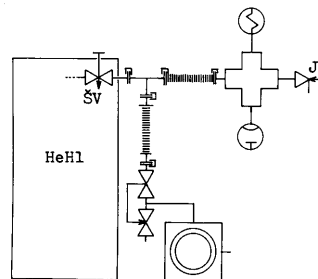
$$U = \frac{1}{2} \frac{q}{m} B^2 r^2.$$

Po dosazení získáváme

$$U = (420 \pm 20) \text{ V}.$$

Sestavili jsme tedy aparaturu podle schématu na obrázku 4. Zapojili jsme heliový hledač podle přiloženého návodu. Při samotném měření nastala potíž; ukázalo se, že ve vlnovci spojujícím heliový hledač netěsností s rotační vývěvou byla vrstva vakuového oleje SN 56 z rotační vývěvy. Po neúspěšném čerpání a následném vyčištění vlnovce a spojovacího ventilu jsme začali hledat netěsnosti na aparatuře.

Netěsnosti jsme očekávali na spojích. Ofukovali jsme postupně všechna podezřelá místa heliem z balónku a zároveň pozorovali hodnotu proudu na heliovém hledači netěsností. Netěsnosti jsme objevili v těsnění mezi levým ramenem skleněného kříže a vlnovcem, konkrétně na zadní části. Při ofukování tohoto místa jsme pozorovali markantní nárůst proudu na ukazateli heliového hledače.



Obrázek 4: Schéma sestavy pro hledání netěsností heliovým hledačem

5 Diskuse a závěr

5.1 Netěsnost úzké skleněné trubice

Pomocí výboje vysokofrekvenční zkušební zkoušečky jsme našli netěsnost na vnějším konci čerpané skleněné trubice. Náboj byl doslova vtahován netěsností do recipientu. Poté jsme ofukovali či potírali objevenou netěsnost heliem a lihem, isopropylalkoholem a acetonem. Pozorovali jsme barevné změny doutnavého výboje. U isopropylalkoholu výboj uhasl.

5.2 Detekce netěsnosti pomocí tepelného manometru

Při vhánění helia nebo par lihu, isopropylalkoholu a acetonu netěsností do recipientu jsme pozorovali nárůst hodnoty tlaku na tepelném manometru. Největší nárůst byl zaznamenán pro páry isopropylalkoholu a acetonu, z 50 Pa až na více než 300 Pa. Tento nárůst byl způsoben kombinací vyšší tepelné vodivosti těchto par a také vyšší rychlosti natékání těchto par netěsností do recipientu.

5.3 Ověření funkce halogenového hledače netěsností

Při přiložení tamponu s perchlorethylenem k netěsnosti jsme pozorovali signifikantní nárůst proudu na halogenovém hledači netěsností. Tento nárůst byl způsoben zvýšenou emisí iontů alkalických kovů z horké platinové anody v důsledku přítomnosti chloru v perchlorethylenu.

5.4 Heliový hledač netěsností

Určili jsme, že pro danou geometrii heliového hledače netěsností je třeba urychlit ionty ${}^4\text{He}$ napětím o velikosti (420 ± 20) V.

Uvedli jsme heliový hledač netěsností do provozu a metodou ofukování podezřelých míst héliem jsme objevili jednu netěsnost v těsnění mezi levým ramenem skleněného kříže a vlnovcem, konkrétně na zadní části.

Reference

- [1] KRÁL, J.: *Cvičení z vakuové techniky*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996
- [2] Kolektiv KF FJFI ČVUT: *Návody k přístrojům*, [online], [cit. 24. dubna 2010], <http://praktika.fjfi.cvut.cz/ProvPokyny/chybynav/CHYBY1n.pdf>
- [3] ERBEN, M.: *Vakuová technika, učební text* FCHT UP, Pardubice, 2008 [online], [cit. 17. listopadu 2010], webak.upce.cz/~koanch/DOWNLOAD/Ucebni%20texty/Skriptum_vacuum.pdf