

Datum měření: 21.11.2014

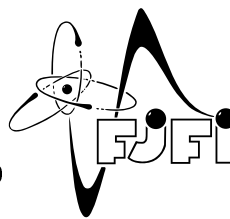
Jméno: David Roesel

Spolupracovali: Schönfeldová, Vyšín

Skupina: Pá 14:30

Kroužek: FE

Klasifikace:



## 1 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 acetonu k netěsnosti.
3. Ověřte, že přivedení helia nebo par lihu, isopropylalkoholu a acetonu k netěsnosti (lehce pootevřený 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. 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.

## 2 Úvod

Důležitou součástí práce s vakuovými aparaturami je bohužel hledání netěsností. Jejich vinou se zvyšuje mezní tlak, kterého je daná aparatura schopna dosáhnout, a snižuje se čerpací rychlost. Chceme-li získat dostatečně dobré vakuuum, je třeba se netěsnostem věnovat a pokusit se je po nalezení odstranit.

## 3 Vypracování

### 3.1 Teoretický úvod

#### 3.1.1 Způsoby hledání netěsností

Netěsnosti můžeme v aparatuře hledat mnoha způsoby. Jedním z nich je využití vysokofrekvenční vakuové zkoušečky a vtahování jejího výboje. Je-li v materiálu (v našem případě ve skle) netěsnost, dojde ke vtáhnutí výboje do aparatury skrze ni a i při malém vychýlení zkoušečky se výboj stále váže do stejného místa.

Dalším způsobem hledání netěsností může být využití různých barev výbojů v různých plynech či parách kapalin. Místa podezřelá z netěsností můžeme ofukovat například heliem či potírat kapalinami jako je líh, perchlorethylen nebo isopropylalkohol. Vnikne-li netěsností látka do aparatury, pozorujeme změnu barvy výboje.

Další vlastností různých plynů, kterou můžeme využít pro hledání netěsností, je jejich rozdílná tepelná vodivost vzhledem ke vzduchu. Zvýší-li se koncentrace těchto plynů v aparatuře, změní se údaj na tepelném manometru. Používáme-li ionizační manometry, uplatňují se různé ionizační účinné průřezy.

Další metodou, kterou budeme studovat, je hledání pomocí halogenového hledače netěsností. Ten je založen na závislosti emise iontů alkalických kovů z horké platinové anody na přítomnosti halových prvků.

Nejpřesnější metodou, kterou si však prakticky nevyzkoušíme, je přímé měření obsahu testovaného plynu v aparatuře. Daný plyn má jasně definovanou hmotnost a jeho přítomnost se tak dá sledovat zjednodušeným hmotnostním spektrometrem, což je snazší pro lehčí plyny - nejčastěji používaným je helium. Heliový hledač je v principu samostatná vakuová komora, ve které se ionizuje zbytkový plyn, v němž se ionizují také ionty  $\text{He}^+$  a separují se. Následně se měří množství těchto iontů za ofukování netěsnosti heliem. Při průniku helia netěsností tedy pozorujeme nárůst výskytu těchto iontů. Na to, aby heliový hledač fungoval, musí být v komoře dostatečně vysoké vakuum. Vyčerpává se tedy nejprve rotační vývěvou a následně i vývěvou difusní. Dokud není chlazen lapač olejových par, nesmí se otevřít ventil spojující difusní vývěvu s analyzační komorou.

### 3.1.2 Nabitá částice v homogenním magnetickém poli

Mějme částici o náboji  $q$ , která se pohybuje rychlostí  $\vec{v}$  v homogenním čistě magnetickém poli o magnetické indukci  $\vec{B}$ , kde působí magnetická síla  $\vec{F}_m$  o velikosti a směru

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

a jsou-li vektory  $\vec{v}$  a  $\vec{B}$  vzájemně kolmé, pak je k nim kolmý i vektor  $\vec{F}_m$ . Pro velikost magnetické síly potom bude platit

$$F_m = qvB, \quad (2)$$

a tím pádem bude zakřivovat dráhu náboje. Nabitá částice se pak bude pohybovat po trajektorii opisující kruh o poloměru  $r$ . Při takovémto pohybu bude na částici působit dostředivá síla, jejíž velikost můžeme určit následovně:

$$F_d = \frac{mv^2}{r} \quad (3)$$

a která bude mířit do středu kružnice. Vzhledem k tomu, že jsou velikosti sil  $F_m$  a  $F_d$  stejné, bude platit

$$F_m = qvB = \frac{mv^2}{r} = F_d. \quad (4)$$

Počítáme-li s urychlovacím napětím  $U$ , bude mít díky němu nabitá částice energii  $qU$ , která se celá přemění na energii kinetickou. Platit tedy bude vztah

$$qU = \frac{mv^2}{2}. \quad (5)$$

## 3.2 Postup měření

### 3.2.1 Detekování netěsnosti pomocí vysokofrekvenční vakuové zkoušečky

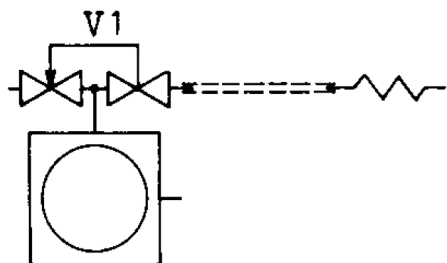
Aparaturu jsme sestavili dle schématu na Obr. 1 a za vlnovec jsme zařadili skleněnou trubici, která měla záhyb a na druhém konci byla zatavená. Zapnuli jsme rotační vývěvu a otevřením ventilu V1 jsme aparaturu vyčerpali. Následně jsme si vyzkoušeli, jak funguje vysokofrekvenční vakuová zkoušečka, kterou jsme přikládali k místům podél skleněné trubice a hledali možné netěsnosti. Nalezená místa jsme si pečlivě zaznamenali.

### 3.2.2 Změna zbarvení výboje v závislosti na prostředí

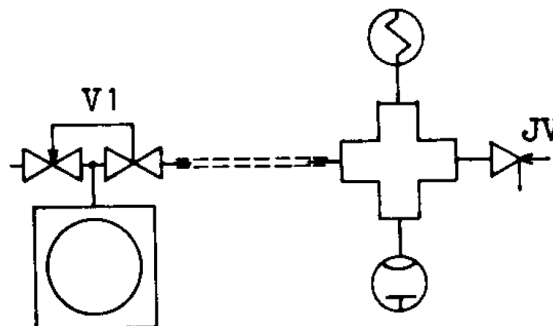
Na tuto netěsnost jsme následně vyzkoušeli i další metodu hledání, tedy ofukování netěsnosti plynem, který mění barvu doutnavého výboje uvnitř v trubici. To jsme zkoušeli pomocí helia. Netěsnost jsme dále potírali také benzinem s lihem, perchlorethylenem a isopropylalkoholem. Při různých plynech jsme pozorovali různé barvy a naše pozorování jsme zaznamenávali.

### 3.2.3 Změna tepelné vodivosti v závislosti na prostředí

Na toto měření bylo třeba přestavit aparaturu do sestavení na Obr. 2. Jako recipient teď sloužila křížová nádoba, ke které byl připojen Piraninův tepelný manometr. Recipient jsme vyčerpali pomocí RV a mírně jsme pootevřeli jehlový ventil v recipientu, tak abychom jím mohli simulovat netěsnost. Na jehlový ventil jsme vyzkoušeli helium i všechny kapaliny z předchozího pokusu a sledovali změnu ukazatele na tepelném manometru.



Obr. 1: Schéma sestavy pro zkoušky vtahování výboje do netěsnosti a barvení výboje při natékání různých látek - převzato z [2].



Obr. 2: Schéma sestavy pro hledání netěsnosti pomocí Piraninova manometru a pomocí halogenového hledače - převzato z [2].

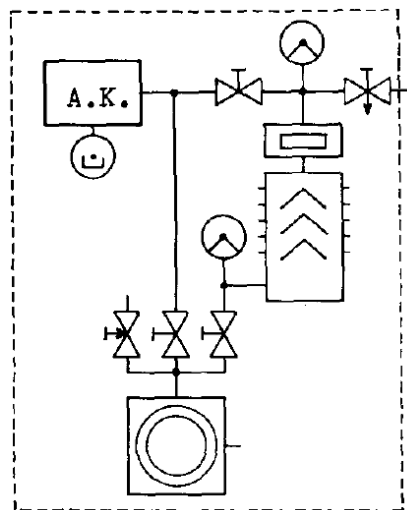
### 3.2.4 Halogenový hledač netěsností

Aparaturu nebylo třeba přestavovat. Recipient již byl vyčerpán RV a po ustálení tlaku jsme pootevřeli jehlový ventil. Zapnuli jsme halogenový hledač netěsností a nastavili ho tak, aby ručička někde mírně pod polovinou stupnice - tedy aby měla místo nad i pod sebou. Vzhledem k očekávanému stoupání ručičky jsme později nulovali ručičku níže.

K simulované netěsnosti jsme následně pinzetou přikládali tampon navlhčený perchlorethylenem a pozorovali změny na halogenovém hledači. Tuto metodu jsme také využili k hledání dalších netěsností na aparatuře.

### 3.2.5 Heliový hledač netěsností

Prostudovali jsme heliový hledač netěsností i duplikát analyzační komory. Na duplikátu jsme změřili posuvným měřítkem průměr kružnice, kterou opisují urychlené ionty helia. Dále jsme změřili magnetickou indukci permanentního magnetu v heliovém hledači.

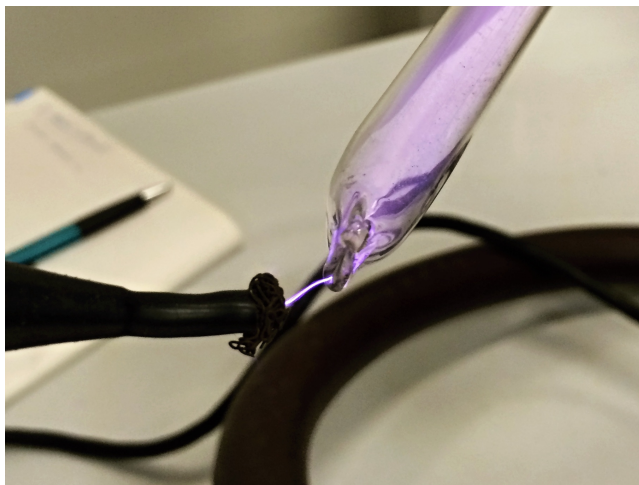


Obr. 3: Vakuové schéma heliového hledače netěsností, AK - analyzační komora - převzato z [2].

## 3.3 Naměřené hodnoty

### 3.3.1 Detekování netěsnosti pomocí vysokofrekvenční vakuové zkoušečky

Při hledání netěsností pomocí vysokofrekvenční vakuové zkoušečky jsme jednu našli přímo na konci skleněné trubice, kde byla zatavená. Výboj ze zkoušečky v relativně velkém okolí netěsnosti směřoval přesně do ní, jak je vidět na Obr. 4.



Obr. 4: Pozorovaný výboj tekoucí do nalezené netěsnosti (vlastní tvorba).

### 3.3.2 Změna zbarvení výboje v závislosti na prostředí

Doutnavý výboj uvnitř skleněné trubice barvu neměnil v závislosti na prostředí příliš, ale to, co jsme pozorovali, je zaneseno do Tab. 1.

přivedená látka	barva výboje
perchlorethylen	t mavší růžová
helium	světle modrá
isopropylalkohol	světlejší fialová
líh s benzínem	zmizení výboje

Tab. 1: Pozorované jevy při studování výboje ze zkoušečky za přivádění různých látek k netěsnosti.

### 3.3.3 Změna tepelné vodivosti v závislosti na prostředí

Pokaždé, když jsme jehlový ventil ofoukli heliem nebo potřeli některou z kapalin, údaj na manometru stoupl, avšak ne o takovou hodnotu, aby se daly přesněji porovnávat. Pozorované jevy jsou tedy zaneseny do Tab. 2, ale jedná se spíše o zběžné relativní porovnání.

přivedená látka	pozorovaný jev
helium	mírné zvýšení
isopropylalkohol	zvýšení na 100 Pa
líh s benzínem	zvýšení na 80 Pa
perchlorethylen	zvýšení na 50 Pa

Tab. 2: Tabulka pozorovaných tlakových změn za přivádění různých látek k netěsnosti.

### 3.3.4 Halogenový hledač netěsností

V momentu, kdy jsme k netěsnosti přiložili tampon s perchlorethylenem, ručička na hledači vyskočila prudce nahoru mimo stupnici ve všech případech. Pomocí této metody jsme odhalili také další netěsnosti na aparatuře,

převážně v blízkosti těsnění mezi recipientem a senzorem Piraniho manometru a spoje RV s recipientem.

### 3.3.5 Heliový hledač netěsností

Poloměr kruhové trajektorie, po které létají ionty helia, jsme určili pomocí posuvného měřítka s chybou poloviny nejmenšího dílku jako

$$r = (40,0 \pm 0,5) \text{ mm.} \quad (6)$$

Velikost magnetické indukce v analyzátoru jsme změřili Teslametrem s odhadnutou chybou jako

$$B = (143 \pm 1) \text{ mT.} \quad (7)$$

Budeme-li poměr  $q$  a  $m$  pro helium uvažovat dle [3]

$$\frac{q}{m} = 2,41 \cdot 10^7 \text{ C/kg,} \quad (8)$$

můžeme urychlovací napětí iontů  $\text{He}^+$  pomocí vztahů (4) a (5) určit s chybou podle (6.4) jako

$$U = (390 \pm 10) \text{ V.} \quad (9)$$

## 3.4 Diskuse

### 3.4.1 Detekování netěsnosti pomocí vysokofrekvenční vakuové zkoušečky

Pomocí vysokofrekvenční vakuové zkoušečky jsme úspěšně detekovali netěsnost na konci skleněné trubice, kde byla zatavená. Bylo evidentní, že je výboj vtahován spodní částí konce i při mírném vzdálení zkoušečky od netěsnosti. Ačkoliv jsme vysokofrekvenční zkoušečkou otestovali i zbytek skleněné trubice, další netěsnost jsme nenašli. Očekávali bychom, že najdeme další netěsnost v ohybu skleněné trubice. Pokud tam ale nějaké netěsnosti byly, pak musely být pod detekčním limitem vakuové zkoušečky.

### 3.4.2 Změna zbarvení výboje v závislosti na prostředí

Netěsnost jsme potírali různými sloučeninami, ofukovali heliem a u některých z nich jsme úspěšně pozorovali změnu barvy doutnavého výboje v závislosti na prostředí uvnitř skleněné trubice. Zajímavostí při tomto pokusu bylo, že při potření netěsnosti lihem s benzínem výboj místo změny barvy úplně zmizel. Tuto skutečnost můžeme přisuzovat tomu, že kapalina na netěsnosti zamrzla a zabránila tím vniku dalšího vzduchu do recipientu. Druhou možností je, že výboj měl šedobílou barvu a my jsme ji nebyli schopni rozeznat. Nutno je také poznamenat, že vnímání barev je velice subjektivní a zjištěné hodnoty tedy velice závisí na tom, kdo ze skupiny je pozoroval.

### 3.4.3 Změna tepelné vodivosti v závislosti na prostředí

Při přikládání lihu s benzínem, isopropylalkoholu a perchlorethylenu jsme pozorovali nárůst tlaku na tepelném manometru. Tento nárůst je způsoben tím, že páry daných sloučenin mají vyšší tepelnou vodivost než vzduch a tím, že rychleji vtékají do aparatury. Pozorovaná míra zvýšení tlaku byla závislá na tom, jak dobře se nám podařilo trefit netěsnost a jak moc byl pootevřený jehlový ventil, kterým jsme netěsnost simulovali. Kdybychom věnovali dost času hledání lepší polohy tamponu se sloučeninami, povedlo by se nám možná dosáhnout i zvýšení o více než 100 Pa.

### 3.4.4 Halogenový hledač netěsností

Při měření halogenovým hledačem jsme přikládali k netěsnostem perchlorethylen, ale nemůžeme přesně stanovit, o kolik se zvýšil tlak, jelikož při každém přiložení ukazatel vylétl ze stupnice. To bylo zapříčiněno zvýšenou emisí alkalických kovů z horké anody způsobené přítomností chloru, který patří mezi halogeny, v perchlorethylenu. Ač nám tato metoda neumožňovala zjistit konkrétní hodnoty nárůstu tlaku, využili jsme ji k nalezení dalších dvou

netěsností na aparatuře, které nám do té doby unikly. Obě z nich byly v blízkosti gumových těsnění, kde jsme jejich přítomnost očekávali.

### 3.4.5 Heliový hledač netěsností

Heliový hledač jsme si bohužel neměli možnost vyzkoušet v akci. Prozkoumali jsme však důkladně jeho konstrukci a popsali ji v teoretickém úvodu. Provedli jsme výpočty pro určení urychlovacího napětí iontů helia. Je však nutné poznamenat, že tento výpočet byl proveden za předpokladu homogenního magnetického pole uvnitř heliového hledače a to se nám při měření jako homogenní nejevilo. Snažili jsme se teslametrem dostat na co nejlepší místo, ale naměřenou hodnotu musíme stále brát s jistou rezervou.

V případě, že bychom měli heliový hledač zprovozněný, nastal by stejný problém, jako s heliem nastával během předchozích experimentů. Stávalo se nám totiž, že se intenzita pozorovaných jevů dramaticky měnila v závislosti na nasměrování koncovky hadice, vedoucí z heliového balónku. I proto předpokládáme, že bychom museli pro přesnější měření foukat na hledané netěsnosti správným směrem.

## 4 Závěr

Našli jsme netěsnost na konci skleněné trubice pomocí vtahování výboje vakuové zkoušečky.

Ověřili jsme změny zbarvení výboje ve skleněné trubici při ofukování netěsnosti heliem a při přikládání tamponu smočeného v lihu, isopropylalkoholu a perchlorethylenu k netěsnosti.

Ověřili jsme, že přivedení helia nebo par lihu, isopropylalkoholu a perchlorethylenu k netěsnosti (lehce pootevřený jehlový ventil) změní údaj tepelného vakuometru. Tento jev jsme vysvětlili.

Ověřili jsme funkci halogenového hledače netěsností a seznámili jsme se s duplikátem analyzační komůrky.

Změřili jsme indukcii magnetického pole permanentního magnetu He-hledače. Z rozměrů uspořádání v komůrce a zjištěné hodnoty magnetického pole jsme určili napětí, jímž musí být urychleny ionty helia, aby byl detekován jejich signál, jako  $U = (390 \pm 10)$  V.

## 5 Použitá literatura

- [1] Kolektiv KF, *Chyby měření* [Online], [cit. 19. prosince 2014]  
<http://praktikum.fjfi.cvut.cz/documents/chybynav/chyby-o.pdf>
- [2] Král, J.: *Cvičení z vakuové techniky*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996
- [3] NIST Physical Measurement Laboratory: *Fundamental Physical Constants* [Online], [cit 19. prosince 2014]  
<http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Category?view=html&Atomic+and+nuclear.x=114&Atomic+and+nuclear.y=11>

# Přílohy

## 6 Statistické zpracování dat

Pro statistické zpracování využíváme aritmetického průměru:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6.1)$$

jehož chybu spočítáme jako

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (6.2)$$

kde  $x_i$  jsou jednotlivé naměřené hodnoty,  $n$  je počet měření,  $\bar{x}$  aritmetický průměr a  $\sigma_0$  jeho chyba [1]. Při nepřímém měření počítáme hodnotu s chybou dle následujících vztahů:

$$u = f(x, y, z, \dots), \quad (6.3)$$

$$x = (\bar{x} \pm \sigma_x), \quad y = (\bar{y} \pm \sigma_y), \quad z = (\bar{z} \pm \sigma_z), \quad \dots,$$

kde  $u$  je veličina, kterou určíme nepřímo z měřených veličin  $x, y, z, \dots$

Pak

$$\bar{u} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots),$$

$$\sigma_u = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots}, \quad (6.4)$$
$$u = (\bar{u} \pm \sigma_u).$$