

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Jaroslav Vránek
O některých druzích manometrů

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 48 (1919), No. 1-2, 70--77

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121128>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1919

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

za 15 neb 20 sekund (podle velikosti elektromagnetu) vytáhneme zátku I : galvanometr ukazuje proud. Při velikých elektromagnetech může uplynouti i několik minut. Proud, který ještě potrvá po vyloučení baterie, a který se obyčejně nazývá „extra proudem při přerušení“ („Öffnungs-Extrastrom“) (ačkoli je to název nesmyslný, jelikož se proud přerušit nesmí) rovná se dle známého vzorce

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L} t},$$

ovšem v případě, že bychom neupotřebili žádného železa; ale pak bychom museli užítí velmi velikých spirál a velmi citlivého galvanometru, kdežto zde dostačí obyčejný větší elektromagnet, jak se nacházejí v školních sbírkách; arci není potom koeficient samoindukce L konstantní, a naše rovnice vyjadřuje klesání proudu jen velmi zhruba.

S exponenciální rovnicí obráceného kyvadla setkáváme se též při vedení tepla v tyčích; tam znamená křivku teploty na nekonečné tyči, která se zahřívá u jednoho kraje na stálou teploturu, jsouc umístěna ve vzduchu.*)

I klesání teploty tělesa chladnoucího řídí se zákonem exponenciálním. Myslím, že by se dalo takových příkladů pro exponenciální zákon ještě najíti více.

Vidí se tedy z těchto poznámek, že se nedoporučuje úplně zanedbávati obrácené kyvadlo při vyučování, nejen proto, že je doplňkem obyčejného kyvadla, ale též proto, že to je klasický případ pro exponenciální zákon, s kterým se ve fyzice častěji setkáváme.

O některých druzích manometrů.

† Dr. Jaroslav Vránek, bývalý asistent čes. techniky v Brně.

Při jisté práci z oboru fotochemie bylo zapotřebí měřiti tlak chloru v rozsahu 0—50 mm Hg s přesností alespoň 1⁰/₁₀₀. Ježto chlor porušuje rtuť a v daném případě nebylo radno pokrýti meniskus rtuťový ochrannou vrstvou na př. konc. kyseliny

*) Strouhal, Thermika, str. 447.

střové, nezbyvalo než se poohlédnouti po nějaké jiné metodě manometrické.

Na radu p. prof. *Baborovského* zkoušel jsem nejprve skleněný manometr *Ladenburg-Lehmannův*. Jest velmi jednoduchý: pozoruje se pohyb konce ploché trubky skleněné, zahnuté v oblouk kruhový o poloměru 7—10 cm. Jest tedy podkladem tohoto manometru známá *Bourdonova* spirála. Pohyb skleněného „zobanu“ se může pozorovati buď mikrometrem okulárním, nebo methodou zrcátka a škály, jestliže se postaráme o vhodný převod translačního pohybu konce zobanu v rotační pohyb zrcátka. *Ladenburg* a *Lehman* upotřebili tohoto manometru k měření tlaku ozonu při stanovení jeho absorpčního spektra a odečítali mikroskopem. Ve své práci¹⁾ tvrdí zmínění autoři, že lze methodou zrcátka a škály odečísti změnu tlaku až $\frac{1}{30}$ mm, při čemž nulová poloha přístroje je prý výborná; mění se jen poněkud s teplotou a to lineárně. Skleněného manometru použil též *Johnson*²⁾; stočil však plochou trubku skleněnou ve spirálu, na jejíž konec upevnil zrcátko; celek zatavil do skleněného válce, v němž měnil tlak známým způsobem tak, že vždy vlivem vnějšího tlaku vyrovnával tlak uvnitř spirály. Tím, že učinil ze spirály „nulový instrument“, vyvaroval se rušivých vlivů dopružování atd. avšak citlivost nebyla značná, asi 1 mm Hg. Rušivých vlivů, podmíněných fyzikálními vlastnostmi skla, je prost křemenný manometr, jež si dali zhotoviti *Bodenstein* a *Katayama*³⁾. Plochá trubice křemenná (6, 0·5 mm) stočena jest ve spirálu o $1\frac{1}{2}$ kruhového obvodu, na jejímž pohyblivém konci je přitavena křemenná tyčinka 30—35 cm dlouhá, jejíž pohyb vzhledem k pevné značce se pozoruje dalekohledem před millimetrovou škálou. Citlivost tohoto manometru udávají autoři na 1·2 až 0·8 mm Hg poznamenávajíce, že by ji bylo lze snadno ještě zvýšiti. Toto zvýšení citlivosti však bylo illusorní, poněvadž celý aparát podléhal změnám vlivem tíže atd., které způsobovaly občas chyby až 2 mm Hg.

Ježto tedy původní forma manometru *Ladenburg-Lehmannova* jeví — dle údajů autorů — citlivost největší, dal jsem

¹⁾ *E. Ladenburg* a *E. Lehman*, Verh. deutsch. phys. Ges. 8, 20 (1906).

²⁾ *Johnson*, Z. physikal. Chem. 61, 457 (1908).

³⁾ *Bodenstein* a *Katayama*, Z. phys. Chem. 69, 26 (1909).

zhotoviti sklářem chemických ústavů p. Synkem několik „zobanů“ v rozměrech shora uvedených. Při změně tlaku téměř 1 atmosf. (evakuací vodní vývěvou) pošinul se pohyblivý konec zobanu o $\frac{3}{4}$ — 1 mm. Tento pohyb lze zveličiti na př. tím, že necháme konec zobanu zabíratí o páku připevněnou kolmo na osu zrcátka, v němž pozorujeme dalekohledem obraz millimetrové škály. Jednoduchým počtem lze se přesvědčiti, že by při délce páky 5 mm a vzdálenosti zrcátka od škály 2 m pohyb zobanu 1 mm způsobil úchytku v dalekohledu pozorovanou až 800 mm, což by odpovídalo citlivosti asi $\frac{1}{10}$ mm Hg, lze-li na škále odhadovati ještě desetiny mm. Po různých předběžných pokusech byla manometru dána tato konečná úprava: Na tenkou ocelovou osu pohyblivou v ocelových ložiskách přilepeno tenké, bezvadné zrcadélko a příčná páka (tenounká skleněná tyčinka), o níž se opíral v jemný hrot vytažený konec skleněného zobanu. Na ocelové ose bylo mimo to centricky upevněno jemné spirálové pérko ocelové, jehož vnější konec byl připevněn na prstencem otáčivý kol ložiska osy. Tímto prstencem bylo lze více nebo méně napínati pérko a tím částečně měniti citlivost přístroje. Ložiska osy trčela v mosazném rámcí, jehož poloha vzhledem ke skleněnému zobanu byla fixována silnými mosaznými objímkami.

Prvá obtíž při měření tímto manometrem spočívala v tom, že se pohyblivý konec zobanu stále jemně chvěl, ač byl celý přístroj co možno pevně montován. Chvění se přenášelo i na zrcátka. Volný konec se chvěl při nejslabších otřesech tak silně, že původně zamýšlené odečítání okulárním mikrometrem bylo zcela nemožné. Chvění zrcátka se dalo značně redukovati přitážením prstence s ocelovým pérkem a prodloužením páky, o níž zabíral konec zobanu. Tím však nutně se snížila citlivost. Byl též učiněn pokus k ose zrcátka připojení olejový tlumič (křídélko slídivé ponořené do oleje). Účinek byl sice značný, avšak nulová poloha přístroje podléhala nyní naprosto nepravidelným změnám. Proto byl tlumič připevněn přímo na konec zobanu, čímž sice neodstraněno chvění úplně, ale docíleno stálosti nulové polohy.

Měření tlaku provedená v rozsahu celé atmosféry ukázala, že fyzikální vlastnosti skla nedopouštějí takové přesnosti, jaké by si bylo přáti. Manometr srovnáván se zkráceným rtuťovým barometrem, provedena řada kalibrací v rozsahu 15—150 mm Hg,

jichž údaje se navzájem dosti dobře shodovaly; při tom se ukázalo, že závislost údajů manometru skleněného a rtuťového (srovnávacího) není přesně lineární. Nejzávažnějším zjevem však bylo, že se navzájem neshodovaly údaje kalibrace provedené při zředování vzduchu a při jeho opětovném vpouštění; odchylky byly až 40 *mm Hg* (!, když obě protichůdné kalibrace provedeny za sebou tak rychle, že sklu nebyla dána možnost vyrovnati nepravidelnosti způsobené dopružováním. Nulová poloha přístroje byla dosti dobrá, ustalovala se však následkem dopružování až po mnoha hodinách.

Poněkud lepších výsledků docíleno, byl-li manometr upotřebován pouze pro malý rozsah tlakový, na př. 0—20 *mm*. Evakuace prováděna rtuťovou vývěvou Toeplerovou a tlak měřen vakuometrem Mac Leodovým. Při vzdálenosti dalekohledu od zrcátka 180 *cm* a délce páky 5 *mm* docíleno citlivosti takové, že změně tlaku 1 *mm Hg* přibližně odpovídala úchylnka na škále 1 *mm*, při čemž bylo lze desetiny *mm* pohodlně odečítati. Zvyšování citlivosti bylo illusorní vzhledem ke chvění zrcadélka, které rostlo tou měrou, jak zvyšována citlivost. Spolehlivá měření bylo lze ostatně prováděti jen v pozdních hodinách večerních, kdy ruch pouliční utichl. Že však i při největší opatrnosti nejsou údaje manometru uspokojivé, ukazují tato čísla vzata z řady kalibrací pro *vzrůstající* tlak vzduchu:

Teplota síně 19,6° C.		— Bar. tlak 731,6 <i>mm</i> .	
I.	II.	III.	IV.
0,0	0	0	0
0,2	2	1,6	+0,4
1,2	10	9,98	0,0
1,4	11	11,6	—0,6
1,7	17	14,2	+2,8
2,0	20	16,6	+3,4
3,9	34	32,5	+1,5
6,5	54	54,0	0,0
10,3	85	85,7	—0,7
14,3	119	119	0

V I. sloupci jsou udány tlaky v *mm Hg* měřené vakuometrem Mac Leodovým, ve II. údaje skleněného manometru

(v desetinách *mm* škály), ve III. hodnoty vypočtené pro případ lineární závislosti údajů olou manometrů (při čemž zvoleny body

(0, 0) a ($x_1 = 143$, $y_1 = 119$) za koncové body přímky $y = \frac{y_1}{x_1} x$

a ve IV. sloupci odchylky hodnot pozorovaných od vypočtených. Kalibrace zpětná, při zředování vzduchu, poskytla zase data odchylná, ač menší měrou než dříve. Jelikož ve zmíněné již fotochemické práci běželo o vzrůstající tlak, byly veškeré kalibrace provedeny za vpouštění vzduchu do vakua. Při každé kalibraci odečteny teplota a bar. tlak. Tento bylo třeba zvláště respektovati, ježto skleněný manometr v uvedené úpravě vlastně představuje citlivý aneroid. Ukázalo se však, že teplota sně má daleko větší vliv než bar. tlak, poněvadž se teplem roztahuje mosazný rámec s osou zrcátka. Tyto rušivé vlivy, k nimž přistupuje zmíněná již citlivost vůči nejslabším otřesům, ukázaly se ve výsledcích kalibrací: maximální odchylky dosahují hodnoty až 15‰.

Tyto málo uspokojivé výsledky donutily mne hledati jiný způsob měření tlaku plynů, jež attakují kovy. Především sluší zmíniti se o manometru s vibrujícím vláknem křemenným, ježž popsali *Haber a Kerschbaum*⁴⁾. Princip jeho spočívá v měření doby útlumu chvějícího vlákna křemenného; čím větší tlak plynu, tím silnější je tlumení a tím kratší bude tudíž doba, jíž jest zapotřebí, aby amplituda chvějícího vlákna klesla na polovici. Avšak různé vnější důvody, z nichž nedostatek potřebného tele-mikroskopu není poslední, mi nedovolily této metody použití. Za to děkuji p. prof. *B. Macků* za návrh nového skleněného manometru, jenž jest prost některých nedostatků manometru. *Ladenburg-Lehmannova*. Plochá, tenkostěnná rourka skleněná, jež komunikuje s prostorem, v němž chceme měřiti tlak, je zatavena do širší, rovněž ploché trubice (po příp. průřezu oválného), která je naplněna rtuťí a přechází ve vodorovnou thermometrickou kapilláru. Nastane-li ve vnitřní rource změna tlaku, zvětší po příp. zmenší se poněkud její objem, následkem čehož se změni též poloha rtuťového sloupečku v kapilláře. Samozřejmě nutno pečovati o zachování úplně konstantní teploty. Proveden pokus s tímto výsledkem: Při změně tlaku o téměř 1 atmosferu (eva-

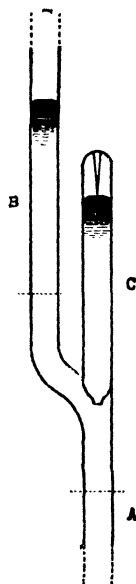
⁴⁾ *Haber a Kerschbaum*, Z. für Elektroch. 20, 296 (1914).

kuací vodní vývěvou) nastalo pošnutí sloupečku rtuťového v kapiláře po délce 19,5 cm, čili o 320 dílců podložené škály (v libovolném měřítku); jelikož lze ještě desetiny dílce odhadovati, jest citlivost přístroje ve zcela primitivním uspořádání asi 0,2 mm Hg. Manometr ze upotřebení též diferenciálně na způsob přístroje Johnsonova (viz dříve) a eliminovati tím vliv fyzikálních vlastností skla. Studium tohoto manometru hodlám se ještě podrobněji zabývat.

Nebude od místa, zmíním-li se ještě o některých zkušenostech s vakuometrem Mac Leodovým a o novém⁵⁾ způsobu přesné jeho kalibrace. Ke kalibraci skleněného manometru Ladenburg-Lehmannova jsem používal vakuometru Mac Leodova ve formě danému účelu přizpůsobené. Za vzor mi sloužila úprava podaná v knize *Travers, Experimentelle Untersuchungen von Gasen* (1905), str. 165. Trubice *A* (viz obr.) je spojena s pohyblivou nádržkou na rtuť, trubice *B* s prostorem, v němž hodláme měřiti tlak. Známe-li jednak objem V celé trubice *C* až po zúžený dolejší konec, jednak objem v , jež zaujímá vzduch nad hladinou rtuť, které se právě dotýká hrot v temeni *C* zatavený, můžeme měřiti hledaný tlak P takto: Zdvihneme nádržku se rtuť tak vysoko, až se rtuť dotýká hrotu v *C* a změříme rozdíl hladin v obou ramenech, jenž udává tlak, pod nímž se nalézá vzduch z původního objemu V stlačený na v . Je-li tento tlak p , platí

$$P V = p v, P = \frac{v}{V} p.$$

Je-li na př. poměr $\frac{v}{V} = \frac{1}{10}$, udává tlak p měřený v centimetrech rtuťi tlak P v millimetrech. Běží-li o měření tlaků v rozsahu 0–50 mm Hg, stačí, aby byla trubice *B* 50 cm dlouhá (při poměru $\frac{v}{V} = \frac{1}{10}$). Podložíme-li přístroj osvětlenou mléčnou



Obr. 1.

⁵⁾ Je těžko v literatuře nalézt, bylo-li této metody již někde použito.

škálou millimetrovou a odečítáme-li posuvným dalekohledem nebo kathetometrem, můžeme v daném intervalu měřiti každý tlak s přesností $\frac{1}{100}$ mm. Záleží pouze na přesnosti, s jakou lze stanoviti poměr $\frac{v}{V}$. Objemy se stanoví vyvážením rtuť. Jest důležité, aby otvor trubice *C* nebyl ani příliš velký, ani příliš malý, nejlépe 1,2 mm. Trubice *C* (u našeho přístroje rozměrů 90,9 mm) s částmi trubic *A* a *B*, které teprve později byly nataveny (v místech naznačených na obr. tečkovaně) naplněna rtuťí s vymýcením všech vzduchových bublinek a vnořena do lázně o konst. teplotě 12,75°. Po dosažení tepelné rovnováhy a příp. doplnění rtuťí zvážena:

Rtuť + rourka + drátek na zavěšení + kádinka	. . . 194,048 gr
Drátek + kádinka	59,997 „
Rourka <i>C</i> prázdná	28,017 „
Z toho plyne váha rtuťi korigovaná na vakuum	106,027 gr

Z údajů o specif. objemu rtuťi při teplotě 12,75°, vzatých z tabulek Landolt-Börnsteinových, plyne objem trubice 0,0737244. $106,027 = 7,817 \text{ cm}^3$.

Béreme-li zřetel k roztaživosti skla, získáme ze vzorce

$$V_t = V_{18,0} \left(1 + \frac{t - 18}{40000} \right)$$

konečnou hodnotu pro objem $V = 7,818$.

Druhé, pečlivější měření poskytlo stejnou cestou hodnoty:

Váha rtuťi red. na vakuum . . . 105,588 gr.

Teplota lázně . . . 36,6°.

Objem = 0,0740434. $105,588 = 7,817 \text{ cm}^3$.

S korekcí pro roztaživost skla plyne $V = 7,815 \text{ cm}^3$.

Přičítáme-li druhému měření větší váhu, jest konečný výsledek $V = 7,816 \pm 0,002 \text{ cm}^3$.

Objem *v* stanoven následovně:

Do trubice *C* vpraveno rtuťi tolik, že po obrácení zasahoval hrot asi 1 mm hluboko do hladiny rtuťi v rource. Takto ponořena rourka *C* do thermostatů s průhlednými stěnami, naplněného vodou. Aby rtuť nevytekla, byl dolejší otvor přikryt kotoučkem kartonu propíchnutým uprostřed jehlou. Lázeň thermostatů pak

zahřívána tak dlouho, až roztaživostí vzduchu nad hladinou rtuti vypuzeno bylo rtuti tolik, že se hrot právě dotýkal její hladiny. V tom okamžiku odečtena teplota a rtuť z rourky opatrně vylita do kádinky, vysušena a zvážena.

I. měření. — Teplota lázně v thermostatě 35,4°.

Váha rtuti, red. na vakuum 95,078 gr

Objem části rourky až po hrot: 0,0740274. 95,078 =

. 7,038 cm³.

S korekcí pro roztaživost skla 7,035 cm³.

Z toho $v = 7,816 - 7,035 = 0,781$ cm³.

II. měření. — Teplota lázně 33,5°.

Váha rtuti, red. na vakuum 95,074 gr.

Objem části rourky až po hrot 0,0740020. 95,074

= 7,036 cm³.

S korekcí pro roztaživost skla 7,033 cm³.

$v = 7,816 - 7,033 = 0,783$ cm³.

III. měření. — Teplota lázně 36,4°.

Váha rtuti, red. na vakuum 95,047 gr.

Objem části rourky až po hrot 0,0740408. 95,047

= 7,037 cm³.

S korekcí pro roztaživost skla 7,034 cm³.

$v = 7,816 - 7,034 = 0,782$ cm³.

Střed ze 3 měření: $v = 0,782 \pm 0,001$ cm³.

Poměr $\frac{v}{V}$ jest pak $\frac{0,782}{7,816} = 0,10005$, při čemž 3. desetinné

místo jest zcela zaručeno.

Z uvedeného je patrné, jak jest možno si poříditi poměrně jednoduchými prostředky manometr, jenž vyhovuje i dosti značným požadavkům, pokud se týče přesnosti. — Netřeba podotýkati, že obě ramena manometru musí míti stejnou světlost, abychom eliminovali rušivé vlivy kapillární. Při zdvihání hladiny rtuťové dlužno se vyvarovati lpění rtuti na skle a na hrotu. Zdvíháme proto ku konci zcela pomalu (nejlépe šroubem) a poklepáváme na obě ramena manometru.

Z ústavu theoretické a fysikální chemie
české techniky v Brně.