

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Josef Zahradníček

Několik pokusů fyzikálních

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 66 (1937), No. 4, D136--D140

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123404>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1937

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>

možné a neodporuje snad předpisům. Není pochyby, že po získání prvních zkušeností u nás i v cizině bude tato otázka řešena definitivně také u nás a že nová látka bude také zavedena výslovně do učebných osnov.

Několik pokusů fyzikálních.

Josef Zahradníček, Brno.

Vodní zvony.

V lázeňském parku v Karlově Studánce pod Pradědem a jistě i v jiných parcích lázeňských a městských je vodotrysk, upravený ve formě vodního zvonu. Tento pěkný pokus hydrodynamický, t. j. výtok vody ve tvaru zvonovité blány dá se sestavit takto: Pod výtokovou trubicí vodovodní, průměru asi 1 cm, dáme do vzdálenosti asi $\frac{1}{2}$ cm kruhovou deštičku průměru asi 2 cm, zasazenou do stojanu, a to kolmo ke směru vodního paprsku, svisle dolů vytryskujícího. Vodní paprsek se tříští na kovové deštičce a tvoří spojitou blánu, která nabývá různých forem od rotačního paraboloidu do formy zvonovité, případně i uzavřené. Vodu necháváme z části ve výlevce, takže vzdálenost mezi vodní hladinou a deštičkou jest asi 30 cm. Měníme tlak vytékající vody přiškreováním kohoutu od maxima k hodnotám menším, dostáváme různé tvary vodního zvonu.

Měření na vodních blanách, při výtoku vznikajících, podali E. Buchwald a H. König v *Annalen der Physik* **23** (1935), 557 a **26** (1936), 659. Tloušťka blány podle měření těchto autorů je řádově několik desetin až setin milimetru. Z tloušťky blány a z formy a rozměrů zvonu, jakož i z výtokové rychlosti vody dá se určití hodnota kapilární konstanty a to t. zv. dynamická hodnota, která se asi o 10% liší od hodnoty statické, získané na př. z měření elevace, nebo z váhy odpadávající kapky a pod.; dynamická hodnota je větší.

Není-li výlevka vodovodní k těmto pokusům vhodná, nasaďme na kohout vodovodu hadici a připojíme k ní skleněnou trubicí světlosti asi 1 cm a pomocí stojanu upevníme tuto výtokovou trubicí nad experimentálním stolem asi 30 cm vysoko; na zachycení vytékající vody postavíme nádobu na př. 50 cm průměru a 10 cm výšky a v ní umístíme i stojan s kruhovou deštičkou. Je nutno ovšem postarati se o odpad vody z nádoby.

Buzení netlumených kyvů a kmitů.

Přeměna stejnosměrného toku energie na tok střídavý ať při oscilacích mechanických na př. u kyvadla nebo u jazýčkové

píšťaly, nebo u oscilací elektromagnetických — v elektrickém oblouku nebo v elektronové lampě — děje se zařízením, které soustavě v pohyb uvedené dodává z vnějška energii na úhradu vznikajících ztrát energie, a to s časem tak, jak se energie soustavy třením a odporem prostředí ztrácí, měníc se ve formy neúčinné. Podle zákona zachování energie platí na př. pro kyvadlo*)

$$E_{kin.} + E_{grav.} + E_{ztrát} = A^2 + E_{z\text{ vnějška}},$$

kde A^2 je zásoba energie do soustavy vložená na př. vychýlením kyvadla. Energie je z vnějška dodávána tak, aby právě stačila krýt vznikající ztráty. Kdyby soustava této energie z vnějška nedostávala, vyčerpala by se za určitý čas celá zásoba energie na počátku do soustavy vložené, a nastal by v soustavě klid — energie kinetická by byla nulová a energie gravitační by nabyla hodnoty nejmenší, případně nulové.

Príslušné zařízení, kterým se řídí přítok energie z vnějška do soustavy po vhodných dávkách, jest u kyvadla stoupací kolečko s kotvou; tímto zařízením se řídí uvolňování gravitační energie zvednutého závaží, takže gravitační energie kyvadla přechází beze ztrát v energii kinetickou a tato zpět v gravitační atd., a to beze ztrát. Podobným zařízením jest u jazýčkové píšťaly jazýček, který střídavě zmenšuje a zvětšuje otvor mezi komorou a ozvučnou píšťalou, takže pružná energie jazýčku se mění v pohybovou a tato opět v pružnou atd., a to beze ztrát, které jsou hrazeny z pohybové energie stejnosměrného proudu vzduchového z úst nebo z jiného foukadla.

U kyvadla dá se celý svrchu popsaný děj přehlednouti v té úpravě, že v zadní desce hodinového stroje vyřízneme dva kruhy o průměru asi 2 cm a podobně i v hodinové skříni a odstraníme přední stěnu číselníku. Stačí k tomu jednoduché hodiny kyvadlové, anebo jejich model, jaký bývá obvykle ve sbírkách fyzikálních. Lampou asi 200 wattů prosvětíme hodinový stroj a spojkou promítneme na stínítko, aby v celé posluchárně byl patrný pohyb kyvadla i stoupacího kolečka s kotvou. Sledujeme tím, jak se mění stejnosměrný tok gravitační energie padajícího závaží na energii kyvů, t. j. na střídavý tok energie.

U jazýčkové píšťaly dá se pozorovati děj obdobný; energie stejnosměrného proudu vzduchového mění se tu v energii kmitavého pohybu pružného jazýčku a v důsledku toho i v energii kmitů vzduchových. Jazýček píšťaly opatříme zrcátkem — krycí sklíčko mikroskopické postříbřené — a umístíme jej v komoře, jejíž dvě protilehlé stěny pobočné jsou zaskleny. Promítneme

*) Místo názvu energie potenciální nebo polohy je v následujícím použito jména energie gravitační.

pak komoru s jazýčkem, případně osvětlíme zrcátko a po odrazu světelného paprsku rozložíme pohyb jazýčku rotujícím zrcadlem Wheatstoneovým. Jednodušeji a názorněji se dá sestavit tento pokus s jazýčkem nebo kyvadélkem o frekvenci subakustické na př. asi 3 per./sec.

Dřevěnou komoru píšťalovou rozměrů $42\text{ cm} \times 4,5\text{ cm} \times 4,5\text{ cm}$ opatříme na jednom konci nožkou, na druhém konci je komora volná; obě podélné protilehlé stěny jsou zasklené. V komoře se dá volně posunovat rámeček z mosazného plechu vnějších rozměrů $4,3\text{ cm} \times 4,3\text{ cm}$, který je kolmo připojen k desce obdélníkové $4,3 \times 4,3\text{ cm}^2$. V rámečku je na dvou osičkách zavěšena deštička $3,5\text{ cm} \times 3,6\text{ cm} \times 0,1\text{ cm}$, tvořící kyvadélko o frekvenci asi $\frac{1}{4}\text{ sec}$; osičky jsou upevněny ve dvou třetinách délky kyvadélka. Kyvadélko rozděluje komoru na dva prostory — komoru a ozvučnu. Vzduch ženeme z foukadla do komory a snadno najdeme přetlak vzduchu a polohu kyvadla v komoře, kdy se kyvadlo rozkývá netlumeným pohybem, udržovaným proudem vzduchu z foukadla vycházejícího. V našem případě byl vhodný přetlak vzduchu 4 mm vodního sloupce a vzdálenost kyvadla od nožky 10 cm. Resonanční křivka této soustavy je dosti strmá, t. j. postačí malá změna v poloze kyvadla anebo přetlaku a kmity přestanou, anebo nejsou netlumené, t. j. o stále amplitudě.

V popsaném případě jde vlastně opět o kyvadlo a ne o jazýček. Jazýček pružný o subakustické frekvenci dá se sestavit v té úpravě, že jej volíme dostatečně dlouhý a tenký a případně jej i na volném konci zatížíme, aby setrvačnost jeho byla velká a tedy doba kmitu dlouhá, aspoň $\frac{1}{3}\text{ sec}$. Pokus v předešlé úpravě však ukazuje pochod odehrávající se u jazýčku, t. j. přeměnu energie stejnosměrného proudu vzduchového v energii oscilací.

Podmínka pro vznik netlumených kyvů nebo kmitů

$$E_{\text{ztrát}} = E_{\text{z vnějšíka}}$$

je tak zvaná podmínka klesající charakteristiky; to znamená na př. u jazýčku, že rychlost toku vzduchu, pod jazýčkem vytékajícího, klesá s rostoucím přetlakem v komoře a obráceně. Obě tyto veličiny, jak přetlak tak rychlost vzduchu, jsou závislé na výchylce jazýčku, ale tak, že s menší výchylkou tedy s menším otvorem mezi komorou a ozvučnou souvisí jednak větší přetlak mezi komorou a ozvučnou, jednak menší rychlost. Zachytíme-li měřením závislost přetlaku a rychlosti na výchylce, můžeme z obou grafů vyloučením výchylky dostat závislost rychlosti na přetlaku, t. j. charakteristiku jazýčku nebo kyvadélka a ta jest klesající. Klesající charakteristika vodivé dráhy je podmínkou netlumených kmitů a to jak mechanických tak elektromagnetických, ať u kyvadla nebo jazýčku, či u obloukové, případně elektronové lampy.

Poznámka: Obdobnou cestou jako vykládáme netlumený periodický pohyb u kyvadla nebo jazýčku v proudu vzduchovém, dá se vyložit i netlumený periodický pohyb větví stromů a kerů v proudu vzduchovém nebo vodním.

Detektory akustických kmitů.

Akustika je v podstatě aeromechanika střídavých proudů vzduchových, které jsou buzeny kmity zvukových zdrojů. Že jde o kmity u strun, tyčí, blan a desek, dá se ukázati na př. cestou grafickou, nejvhodněji pomocí zrcátka se zdrojem kmitů spojeného — na př. u ladičky, blány, nebo stroboskopickou projekcí — na př. u struny nebo jazýčku, nebo obrazci Chladniho u blan a desek a jinak. U vzduchových sloupců, t. j. u píšťal, ukážeme kmity a s nimi související periodické rozdělení tlaku a rychlosti pomocí t. zv. akustického ventilu a Rayleighovy desky.

Akustický ventil tlakový je sestaven v jednoduché úpravě z mosazné trubice světlosti 1—0,6 cm, délky asi 1 m, která na jednom konci jest opatřena kruhovou uzávěrkou, na druhém pak olívkou, spojenou kaučukovou hadicí s vodním manometrem. V kruhové uzávěrci trubice je při okraji otvor 1 mm v průměru, který je překryt muším křídélkem, částečně jen přilepeným, takže je vytvořena klapka jedním směrem se otvírající — pro ochranu dovnitř trubice. Manometr tvoří U-trubice s rameny na př. 50 cm dlouhými; podložíme jej stupnicí na př. na celuloidu, aby byl vhodný i pro projekci. Naplněn je zbarvenou vodou. Ke zvýšení citlivosti je manometr skloněn k rovině vodorovné pod úhlem tím větším, čím menší přetlaky mají býti měřeny.

Akustický ventil zachycuje ze vzduchových oscilací jen jednu půli — usměrňovač, ventil — a je možno použití ho jako detektoru kmitů ve znějících píšťalách a resonátorech a pod. Tlak je ve znějícím sloupci vzduchovém rozložen periodicky s místem; na volném konci je tlakové minimum, neboť tlak akustického pole přechází tam v tlak okolního vzduchu, v uzlech je přetlak maximální. Snadno se o tom přesvědčíme, posunující tlakovou sondu s muším křídélkem podél osy znějící píšťaly, nebo resonátoru, naladěného na zaznívající tón. Ukážeme, že v ústech zpěváka je tlak odlišný od tlaku proudu vzduchového při dechu a j.

Tlakový ventil pochází v podstatě od Kundta; s muším křídélkem byl sestaven od Eisenhouera a Tyzzeria — 1927.

Kdežto akustický ventil, jehož podstatou je blána, je detektorem tlakovým, je Rayleighova deska detektorem rychlosti v akustickém poli. V nejjednodušší úpravě je to kruhová deštička — na př. krycí sklíčko mikroskopické průměru 1 cm, postříbřené —, zavěšená na teninkém vlákne na př. kokonovém nebo platino-iridiovém. Závěs je v obdélníkovém rámečku, který se dá posunovati na různá místa v ozvučně píšťaly, jejíž dvě pobočné

protilehlé stěny jsou zasklené. Zrcátko je stočeno pod úhlem 45° k ose ozvučny. Tehdy je totiž deska nejcitlivější; zároveň je tato poloha vhodná pro paprsek na desku dopadající a na ní odražený.

Zaznívá-li píšťala, Rayleighova deska se vychýlí z rovnovážné polohy a to tím více, čím větší je rychlost vzduchového proudu. Největší rychlost je v kmitně píšťaly, t. j. v otevřené píšťale na obou koncích, v uzlu je rychlost nejmenší. Rozdělení tlaku a rychlosti v akustickém poli je toho druhu, že maximum rychlosti splývá s minimem tlaku a obráceně. Pro výchylku Rayleighovy desky platí

$$\Delta\varphi = Ku^2,$$

kde K je konstanta přístroje, u rychlost ve vzduchovém proudu. Závislost výchylky na četverci rychlosti je charakteristickou vlastností přístroje pro proud střídavý, oscilace. Rayleighova deska jest obdobou žárového ampérmetru, kdežto akustický ventil jest obdoba voltmetru na střídavý proud.

Charakteristika elektronové lampy.

Statickou charakteristiku elektronové lampy, a to na př. závislost emisního proudu na napětí mřížkovém, zachytíme tak, že měníme napětí mezi mřížkou a katodou v rozmezí na př. $+30 \dots -30$ voltů, udržujeme proud topný a napětí anodové stálým, a měříme intensitu proudu v okruhu anodovém. Emisní proud měříme miliampérmetrem zařazeným do okruhu anodového, mřížkové napětí měříme voltmetrem mezi katodou a mřížkou.

Průběh charakteristiky možno zachytiti graficky dvěma oscilografy zrcátkovými. Jeden z nich podává časový průběh mřížkového napětí, proměnného v mezích $+30 \dots -30$ V s frekvencí 50 per./sec — odvětvením z městského proudu. Druhý oscilograf podává emisní proud, proměnný s časem v důsledku proměnného napětí mřížkového. Jsou-li kmitoměry zrcátek obou oscilografů zkříženy, pak světlo z osvětlovací lampy, dopadající s jednoho zrcátka na druhé, píše po odraze na stínítku charakteristiku, u níž je dobře patrná jak část lineární, tak i části zakřivené. Je-li jeden z oscilografů upraven z elektromagnetické pružiny,*) je na křivce patrný vliv hystereze oceli.

Jeden z oscilografů je zapjat paralelně do okruhu mřížkového, druhý do okruhu anodového a to rovněž paralelně s vhodným shuntem. Napětí na mřížce jest odvětveno z velkého reostatu posuvného, jehož celý odpor, řádu 1000 ohmů, je zapjat na svorky městského proudu střídavého o napětí 110 resp. 220 V.

Fysikální ústav Masarykovy university.

*) Podrobnější návod pro konstrukci elektromagnetické pružiny, případně oscilografu najde čtenář v did. příloze Časopisu 55, 209, 1926, nebo v Základních pokusech fysikálních, Brno 1935.