

František Boček

Dynamika letu v pokusech

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 65 (1936), No. 2, D68--D74

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120836>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1936

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>

okulár rozptylka ($f_2 = -5$ cm). Při vzdálenosti obou čoček 15 cm (20—5) je obraz vzdáleného předmětu nejzřetelnější. V obou případech možno obraz zlepšiti užitím clony mezi oběma čočkami.

Str. 218. Dalekohled hranolový. Z obrazce 301, uvedeného v učebnici, není žákovi patrno, že se obraz po úplném čtyřnásobném odrazu převrátí; na tabuli provedeme chod dvou paprsků (různobarevnými křídami) asi tak, jak je v Ryšavého Fysice pro nižší tř. stř. škol obr. 295. Pochopení tohoto zjevu pódeprme ukázáním modelu, kde totálně reflektující hranoly jsou nahrazeny dvěma páry zrcadel, skloněných pod úhlem 90° . Model si snadno zhotovíme podle obr. 490 v II. dílu knihy Dr. K. Rosenberg: Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre, 4. vyd., 1924. Uvádím tu jen rozměry svého přístroje: zrcadla 10×15 cm, desky 20×24 cm; zrcadla jsou zasazena do příslušně velkého plechu, ohnutého v pravém úhlu. Ježto objektiv triedru dává obraz převrácený, užijeme za předmět pro náš přístroj na př. titulu některého denního listu, který přilepíme na tuhý papír a převrácený umístíme za přístrojem; hledíme-li směrem \overline{AB} v shora uvedeném obrazci, vidíme písmo správně, jak má býti.

Str. 218. Spektra světelných zdrojů. Místo pozorování spekter pouhým hranolem jest výhodné pozorovati je malým přímohledným hranolem. Pozorujeme jím světlo žárovky, které vhodným reostatem regulujeme tak, aby žárovka z tmavě červeného záření přešla až do bílého záru; ve spektru pozorujeme zprvu jen barvu červenou, k níž přibývá postupně oranžová, žlutá atd. až fialová. — K ukázání spektra sodíku je vhodnější bromid sodný než kuchyňská sůl (neprská a nerozstříkuje se). Kromě spektra sodíku ukážeme ještě jedno spektrum, vyznačené více čarami, na př. Ca, Ba, Sr. — Pozorujeme-li spektroskopem rozsvícenou doutnavou žárovku, uvidíme krásné spektrum neonu.

(Příště dokončení.)

Dynamika letu v pokusech.

František Boček, Praha.

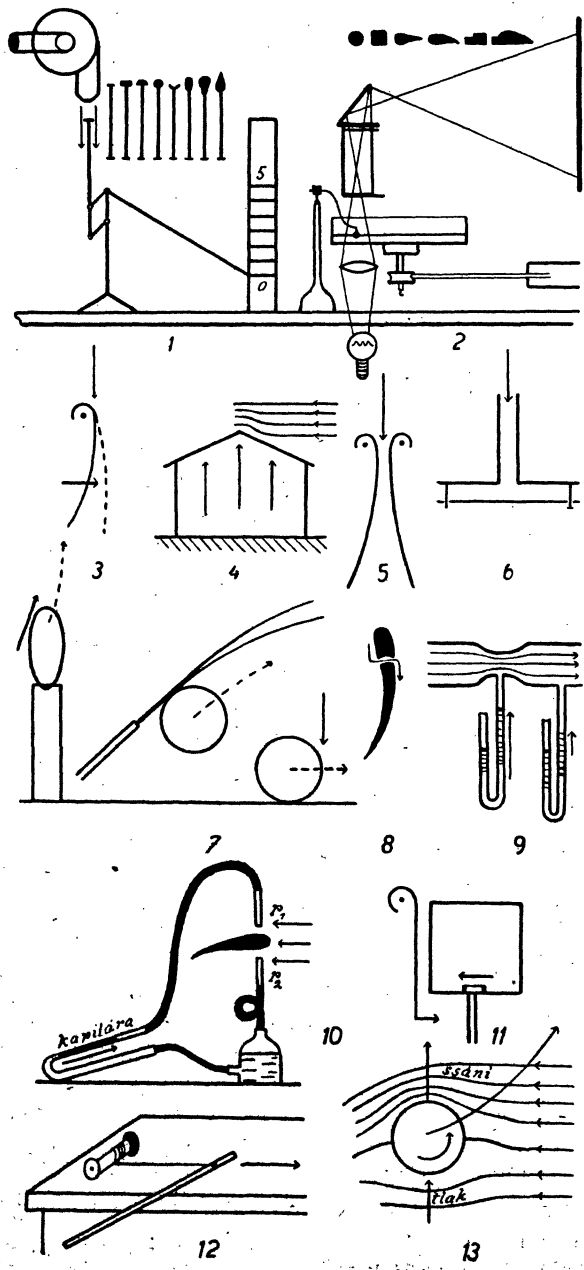
Rozvoj letectví a jeho všestranný význam upoutává všechny vrstvy obyvatelstva bez rozdílu stavu a stáří. Zejména vojenská stránka, tak důležitá pro obranu státu, vyžaduje, aby bylo co nejučinněji propagováno, a to hlavně tam, kde leží jeho budoucnost, mezi mládeží. Proto škola může se státi hlavním činitelem, neboť v ní se mládež soustřeďuje a zde je tudíž nejkrásnější možnost,

jak ji zaujmouti pro letectví a jak vybudovati kádr občanů, kteří by měli živý a bezprostřední zájem.

Domnívám se však, že to, co dnes žák ve škole slyší o létání, o jeho vzniku, zejména pak o jeho teorii, samo o sobě nestačí, i když výklad je sebe lepší. Mladí dychtí podívat se každé věci na kloub — prostě viděti. Má-li slovo vniknouti do hloubky, musí býti, zejména u tak eminentně praktické aplikace fysiky, jako je létání, doprovázeno pokusem. Po této stránce zůstaly nám dosavadní učebnice mnoho dlužny, omezující se téměř výlučně na teorii. A přece jest slušná řada pěkných pokusů, které lze provésti s velmi jednoduchými a levnými prostředky, takže žák hravě porozumí podstatě létání, a vyučování samo se jemu i učiteli zpříjemní a zradostní. V Německu na př. správně vystihli důležitost aerodynamických pokusů ve škole a vybuodovali metody, pokusy i přístroje, které se výborně osvědčily. Upozorňuji tu na zajímavou knížku „Einführung in die Physik des Fliegens“ od Dra K. Schütta.*)

Vysvětlím nyní několik základních pokusů vybraných z této knihy (t. zv. Schauversuche) a některé vlastní. Především třeba osvětliti základní problém, to jest fysikální poměry vznikající kolem tělesa obtékaného proudem vzdušným — jeho odpor, rozvrstvení (proudnice), víry a tlaky. Odporem se rozumí síla, která je namířena proti pohybu, která tedy pohyb brzdí, při čemž jest relativně stejné, co jest v pohybu, zda těleso či prostředí. Pro měření užívá se prakticky případu, kdy těleso jest v klidu a prostředí proudí (aerodyn. kanály, tunely). Obr. č. 1 ukazuje jednoduché, pro pokusy orientační postačující zařízení k měření odporu. Obyčejně listovní vážky upravíme tak, že odebereme čočku i miskou a na kratší rameno nasadíme pevně asi 20 cm dlouhý tenký drát. Jako ukazovatele výchylek připevníme k ose asi 100 cm dlouhé lehké rameno ze stébel do sebe zastrkaných. Dále si opatříme několik odporových tělísek různých tvarů, na př. deštičku kruhovou, kouli, polokouli dutou i plnou a konečně tělíska tvaru kapkovitého a vejčitého. Upravíme je tak, aby se dala jednotlivě na drát nasaditi, aneb upevníme každé zvlášť na samostatný drát. První deštička jest o průměru 1 cm, druhá 2 cm. Dále si obstaráme zdroj přibližně homogenního proudu vzduchového, a sice elektrický vysušovač vlasů, z něhož odstraníme topnou spirálu, aby se proud nezeslaboval. Tento přístroj vyrábí proud o počáteční rychlosti asi 15 m/sec. Konečně potřebujeme černý stojánek, na němž křídou poznamenejeme dílky, odpovídající polohám ukazovatele při kalibraci vážek závažími 1, 2, 3 g atd. Ústí vysušovače budiž vždy od čelné plochy tělísek

*) Nakladatel C. J. E. Volckmann Nachf., Berlin - Charlottenburg. — Zprávu o ní podal v tomto Časopise roč. 61, str. 366, prof. dr. A. Žáček.



vzdáleno 5 cm. Čelnou plochou rozumíme maximální řez, kolmý ke směru proudu.

Nyní provádíme měření tak, že nejprve zjistíme odpor samotného drátu (bez tělíska) včetně pohyblivých částí vážek, na něž proud dopadá. Zjistíme na př., že jest asi 1 g. Na to měříme odpory postupně pro další tělíska. Pro desku první ukáže se výchylka 2 g, pro desku větší 4 g, plná koule 2,1 g, polokoule nahoru vypouklá 2,3 g, polokoule nahoru vydutá 5,0 g, těleso vejčité 1,8 g, konečně těleso nejmenšího odporu tupým koncem vzhůru 1,4 g a totéž těleso hrotem vzhůru 1,8 g.

Odečteme-li nyní ode všech hodnot 1 g, to jest přibližnou hodnotu odporu samotného drátu, jsou odpory po řadě: 1, 3, 1,1, 1,3, 4,0, 0,8, 0,4, 0,8. Vidíme tudíž, že tělesa různých tvarů při stejné čelné ploše a rychlosti proudu kladou různý odpor; nejmenší odpor kladou kapkovité těleso napředu tupé, a sice asi $\frac{1}{7}$ odporu desky o stejné ploše čelné. Překvapuje, že odpor téhož tělesa se značně zvětší, je-li obráceno hrotem proti proudu. Vysvětlení tohoto zjevu jest prosté, poznáme-li blíže způsob proudění vzduchu v okolí tělesa a tvoření vírů za ním, jež směřují proti hlavnímu proudu a odpor zvětšují.

K tomu účelu improvisoval jsem přístroj k sestavení, jež schematicky podává obr. č. 2. Na osu odstředivého stroje našroubujeme malou dřevěnou desku a potřeme ji hustou vaselinou, načež na ni přitiskneme válcovitou skleněnou misku (odpařovací) o průměru aspoň 25 cm. Čím jest širší, tím lépe. Její dno musí býti k vůli projekci rovné a bez větších kazů. Do misky nalijeme čisté vody do výše asi $1-1\frac{1}{2}$ cm a posypeme buď plavuní nebo velmi jemnými korkovými pilinami, ne však příliš hustě. Vzduchové bubliny vytvořené na dně odstraníme mícháním. Zdola osvětlíme misku obyčejnou žárovkou větší svítivosti. Mezi ní a miskou vložíme případně vhodnou čočku jako kondenzor. Centrálně nad žárovkou se umístí projekční soustava, k níž přidáme eventuálně totálně reflektující hranol, abchom dostali obraz na svislé stínítko. Dále si vyřežeme z gumy nebo korku a pilníkem opracujeme řadu profilů, na př. válec, poloviční válec, desku čtvercovou, křídlo letadla, auto starého a nového typu (viz obr. 2). Výška jejich asi 1 cm, velikost taková, že pokryjí minci 20 h. Tyto profily nasazujeme na drát upevněný na stojánku (posouvatelném vzhůru a dolů) a vkládáme je do vody centrálně vzhledem k projekčnímu zařízení. Ponor budiž asi do $\frac{3}{4}$. Otáčíme-li nyní odstř. strojem velmi pomalu, uvidíme po zaostření na projekční stěně krásné obrázky proudnic a vznikajících vírů, tak pěkné, že nás za trochu té námahy dokonale odmění. Nejdůležitější a nejzajímavější jsou víry vznikající za profilem letadlovým, který natáčíme víc nebo míň proti proudu, pak u profilu nej-

menšího odporu a konečně u profilu auta tvaru aerodynamického, za nímž vznikají víry jen nepatrné. Krátce po provedení této improvisace dostal se mně do ruky prospekt,*) kde je nabízen podobný přístroj v poněkud jiném uspořádání (t. zv. Drehwanne).

Z projekcí vidíme, jak se homogenní pole při pohybu změní, a sice na straně vypuklé se zhuští a rychlost částic je větší, naopak na duté straně proudnice zřednou a rychlost je menší. Dalším pokusem dokážeme, že zhuštění proudových čar a zvýšení rychlosti má za následek zmenšení tlaku a tedy ssání; naopak zmenšení rychlosti vyvolává zvýšení tlaku, při čemž oba účinky jsou téhož smyslu, tedy se navzájem podporují.

Vezmeme pohlednici a udělme jí prohnutý tvar jako na obr. č. 3. Na konci ji zahněme více, abychom mohli provléci drát, kolem něhož by se mohla lehce otáčeti. Foukáme-li shora na ni, překvapí nás, že se vždy vychýlí na stranu vypuklou, ať proud dopadá zprava či zleva. Totéž lze ukázat pomocí tenkého plíšku téže formy (1 cm šířka, 6 cm délka), pustíme-li naň vodní paprsek. Odchýlí se opět na vypuklou stranu asi o 30°. Tím je dokázáno, že na straně vypuklé působí ssání, na duté tlak. Týž úkaz přichází někdy při prudkých větrech, kdy vzduch proudící nad střechou domu zvětší svoji rychlost, takže vznikne ssání (podtlak), jímž může být kryt nadzdvížen a snesen (obr. č. 4). Ženeme-li proud vzduchu na dvě podobné karty k sobě vypuklými plochami obrácené, tedy vidíme i slyšíme, jak chvějí, máme samočinný přerušovač proudu (5). Výklad je zřejmý. Totéž nastává u známého přístroje Clément-Désormesova (6, aerodynamické paradoxon), který lze improvisovati velmi jednoduše tak, že foukáme shora do mezery mezi ukazováčkem a prostředním prstem levé ruky, zatím co pravou rukou přidržíme na chvíli pod štěrbinou na plochu kousek papíru velikosti asi 4×4 cm. Papírek se drží u štěrbině a odpadne teprve, přestaneme-li foukati.

Názorný je též pokus s balonkem (7), nejlépe protáhlého tvaru. Položme jej na sklenici a foukněme se strany prudce na jeho vršek. Uvidíme, že se vznese přímo do výše, zřejmě vtlačen okolním přetlakem do zředěného prostoru, jenž se vytvoří za prvotním nárazem. Kdybychom přiblížili balonek ke vzdušnému či vodnímu proudu, bude balonek nassáván a stržen do jeho směru, po případě zůstane ve vzduchu viseti. Podobně, foukáme-li shora na balonek na stole ležící, uvede se v pohyb.

Také jest vhodné připomenouti žákům pokus s Venturiho trubicí (obr. č. 9). Na zúženém místě jeví se „statický“ tlak vzdušného proudu menší než na širším, proud ssaje, podobně jako u vodní vývěvy, u rozprašovače, u splynovače, u parního injektoru

*) Phys. Werkstätten A. G. (Göttingen).

(pára tryskající z trubice strhuje s sebou vodu do parního kotle), u Bunsenova hořáku.

Tlakové poměry kolem nosné plochy můžeme také demonstrovati formací jednoduchého, šikmo položeného manometru (obr. 10). Po vložení profilu křídla mezi rourky r_1, r_2 posune se sloupec v kapiláře vzhůru. Každá rourka sama o sobě způsobí stoupání, z čehož je zřejmo, že nad plochou je zředění, pod plochou přetlak. A sice ssání je značně větší. Tento tlakový rozdíl můžeme sledovati po celé délce profilu. Z toho také plyne, že nosná plocha jest nahoře více namáhána než vespodu. Totéž ukážeme v projekci pomocí profilu 8 rozděleného mezerou ve dvě části. Kapalina proudí zesepa na svrchní část nosné plochy, kde je tlak menší.

Povšimněme si dále tvoření vírů a jejich významu pro pohyb tělesa. Poněvadž vznikají pohybem tělesa v prostředí, je zřejmo, že jejich živá síla tvoří se na útraty energie potřebné k udržení tělesa v pohybu a představují tudíž ztrátu, odpor. Poněvadž se víry za sebou od tělesa postupně odpoutávají, je jasné, že vznikající odpor nemůže býti časově konstantní, nýbrž kolísá, jak také pozorujeme na dříve popsanych vážkách. Tím způsobem se také uvádějí telegrafní dráty ve chvění, zpívají.

Víry také způsobují ssání tělesa. Ukážeme to jednoduše takto. Nasaďme na osu odstředivého stroje krabici od konzervy a uveďme ji v prudkou rotaci. Přiblížíme-li čtvrtku papíru, tedy se přitahuje. Následkem tření o stěnu uvede se okolní tenká vrstva vzduchu v rotaci a vzniklé víry papír nassávají. Tvoření vírů vystupuje zejména mocně v tropech při tornadu a tajfunech, kdy vzduch rotuje kol svislé osy obrovskou rychlostí. Podobně tlakové níže (cyklony) jsou rovněž mocné víry o průměru několika set km, dále i víry na slunci a vířivé proudy Foucaultovy.

Zvlášt' významné jsou víry vznikající u letadel. Čím jest úhel náběhu větší, tím jsou mocnější. Jimi se pravidelný chod zhuštěných proudnic nad letadlem ruší a tím ovšem klesá i ssání, to jest nosivá síla. Proto při překročení jisté hodnoty tohoto úhlu může nastati propadnutí, zřícení letadla.

Na konec můžeme ještě upozorniti na zajímavé důsledky rotace těles při postupném pohybu. Učiníme pokus následující. Položíme na stůl lehký (30 g) lepenkový válec (obr. č. 12) po stranách opatřený kotoučky na způsob cívky (průměr 5 cm, délka 25 cm). Ovineme jej širším páskem (1,5 m) upevněným na konci hůlky jako bič. Trhneme-li prudce hůlkou, tedy válec dostane vedle postupného pohybu i prudkou rotaci a vzlétne obloukem do výše až ke stropu, po případě se vrátí zpět jako bumerang. Tento případ nastává, souhlasí-li rotace válce se směrem vzniklých proudnic na straně horní; při opačném navinutí pásku běží na okraj stolu a náhle, prudce a s nárazem dopadá k zemi.

Z toho poznáváme, že na válec působí přetlakové vzdušné síly, jež jej z původního směru silně odchylují. Vysvětlení tohoto efektu (Magnus 1852) jest jednoduché. Rotující válec strhne s sebou a v rotaci uvede přilehlou vrstvu vzduchu. Nad válcem, kde rotace této hraničné vrstvy má též směr jako proud vznikající postupným pohybem tělesa, nastane zrychlení proudu, zhuštění proudnic a tedy ssání, na spodu, kde rychlosti mají opačný směr, pak rychlost se zmenší, proudnice zřídnou a nastane přetlak vzhůru. Oba účinky se pak, poněvadž jsou téhož smyslu, sčítají.

Tohoto zjevu užil Flettner k sestrojení rotorové lodi. Dva svislé, vysoké válce uvádějí se Dieselovými motory v rotaci. Přichází-li vítr se strany, tedy při správné rotaci vzniká přetlak, jenž žene loď kupředu. Tento efekt byl pozorován koncem 18. století při dělostřeleckém cvičení, kdy v jednom případě střela se obloukem vrátila a dopadla za dělem k zemi. Patrně jen proto, že následkem excentrické polohy těžiště upadla v rotaci kol osy příčné ku směru výstřelu, takže se vychýlila jako zmíněný lepenkový válec. Týž úkaz pozorujeme někdy při golfu a tenisu.

Domnívám se, že tyto pokusy úplně postačí k osvětlení těch zvláštních sil, jež podmiňují let. Dala by se sice provést ještě řada jiných,* avšak časová tíseň při nynějším zmenšeném počtu hodin fysiky ve tř. 6 sotva dovolí, aby se látka rozšířila. Proto by bylo správné, některé tyto pokusy přenést již do třídy čtvrté.

*

Poznámka. Veškeré přístroje a potřeby pro shora popsané pokusy vyrábí a dodává FYSMA, společnost s ruč. omez., Praha XIX, Bubeneč, Piettova 180.

*) Viz na př. články vztahující se k témuž tématu v 15. ročníku časopisu „Praktische Schulphysik“ (1935) na str. 2 (K. Wildermuth), str. 33 a 161 (E. Boller) a str. 249 (G. Leimbach). Pozn. red.