

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Josef Zahradníček

Několik poznámek k padostrojmům. [I.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 57 (1928), No. 2, D24--D30

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121775>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1928

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>

dílů bádavou metodou. Jedná se tudíž o organickou syntésu této metody s ostatními v účelný vyučovací způsob. O vhodnosti určité metody pro jednotlivé státi rozhoduje vedle látky ohled na školu, třídu, pomůcky vyučovací, čas a ne málo i povaha učitelova; také mohou přijíti v úvahu lokální technické, průmyslové a jiné poměry a zkušenosti žáků. Látku hodící se pro bádavou metodu skýtají všechny oddíly fysiky; zvláště vhodnou zdá se mi býti geomechanika, jejíž poučky matematického rázu stanou se také následkem hlubšího prožití pokusů bádavým způsobem prováděných žákům přístupnějšími.

Nové zde dotčené směry metodické mění značně způsob vyučovací i ve třídách vyšších, kde jest ještě větší měrou stupňována tvořivá samostatnost žactva.

JOSEF ZAHRADNÍČEK:

Několik poznámek k padostrojům.

V tomto článku chci uvésti několik jednoduchých pokusů a měření týkajících se volného pádu a pohybu po nakloněné rovině; jsou to ukázky z praktika fysikálních pokusů konaných na Masarykově universitě v Brně přístroji vesměs tak jednoduchými, že dají se snadno sestaviti v kabinetě každé střední školy.

Volný pád probírá se na střední škole zpravidla tím způsobem, že se předloží žákům fakta převzatá z měření Galileových: dráhy vykonané volně padajícím tělesem za 1, 2, 3, 4, 5, ... sekund a z těchto experimentálních dat vyvodí se závěr

$$s = \frac{1}{2}gt^2, \quad v = gt.$$

Známy pokus Hartlův a to v dvojím provedení: na jedné niti jsou upevněny kuličky ve vzdálenostech:

$$0-196-785-1766-3139-4905 \text{ cm,}$$

na druhé na př. ve vzdálenostech

$$0-100-200-300-400-500 \text{ cm}$$

poučí žáky aspoň zhruba o tom, zda volný pád je pohyb rovnoměrný, nebo rovnoměrně zrychlený.

Pro přesnější studium volného pádu užívá se v přednáškách prof. Macků cesty fotografické, tím, že se fotografuje pohybující se těleso při krátkých záblescích světelných, následujících za sebou po známých, přesně určených intervalech časových — kinematograficky. Tento způsob jest ovšem pro střední školu nevhodný, dá se však tam nahraditi metodou stroboskopickou. Užívající kratších

jednotek časových než jest sekunda, na př. 1/10, 1/20, 1/50, 1/N sekundy a zjemnivše takto pozorovací metodu dovedeme stroboskopickým pozorováním při krátké poměrně dráze snadno rozhodnouti, o jaký pohyb se jedná, zda o rovnoměrný nebo nerovnoměrný.¹⁾

Že jest volný pád pohybem rovnoměrně zrychleným, odvodíme z pokusů na padostroj Lippichovu,²⁾ o němž je v dalším pojednáno. Jako jednotky časové je tu použito doby kmitové pružného péra, jež píše kmity své na volně padající desce skleněné. Na této myšlence sestrojili padostroje též: Laborde, Müller, Rabs, Neumann a j. V prvních vydáních Maškovy »Fysiky« pro 6. třídu reálék a Jeništovy pro 7. tř. gymnasií byl uveden padostroj Lippichův v úpravě poněkud složitější — s fotografickou deskou —, snad z důvodů složitosti byl později vypuštěn. V úpravě v dalším popsané je tento přístroj vhodným pro střední školy jak pro kvalitativní, tak kvantitativní studium volného pádu — případně pohybu po rovině nakloněné.

Padostroj Lippichův.

Na dřevěné desce 100 cm dlouhé a 12 cm široké po delších stranách opatřené žlábků, je připevněna ve vzdálenosti 40 cm od jednoho konce elektromagnetická pružina,³⁾ opatřená hrotem. Podél desky pohybuje se ve žlábkách skleněná deska očazená terpentýnovým plamenem — rozměry desky jsou 50 × 10 cm. Pružina, rozkmitaná střídavým proudem o frekvenci 50 za sekundu, píše na volně padající desce vlnovku, mezitím co druhý hrot, klidný, na spojnicí pólů magnetické podkovy upevněný, zapisuje přímku — osu vlnovky. Skleněná deska zaráží se na druhém konci desky dřevěné ve žlábků, v němž přilepen je kousek hadice kaučukové na utlumení nárazu. Odklopením tohoto žlábků vytahuje se deska skleněná z aparátu vhodně na zdi upevněného.

Na grafu fixovaném alkoholickým roztokem šelaku⁴⁾ odměříme — od počátku pohybu vždy měřeno — délku 2, 4, 6... vlnek, t. j. dráhu vykonanou za $\frac{2}{50}$, $\frac{4}{50}$, $\frac{6}{50}$... sekundy a vytvoříme první a druhé diference podle schematu:

s	Δs	$\Delta(\Delta s)$
$s_1 = \lambda_1 + \lambda_2$		
$s_2 = \lambda_1 + \dots + \lambda_4$	$\Delta s_{2,1} = s_2 - s_1$	
$s_3 = \lambda_1 + \dots + \lambda_6$	$\Delta s_{3,2} = s_3 - s_2$	$\Delta s_{3,2} - \Delta s_{2,1}$
.....

¹⁾ Viz autorovo pojednání »Stroboskopická metoda ve fysikální praxi« v »Časopisu pro přest. mat. a fys., Příloha 50, 68, 1921.

²⁾ Sitzungsberichte der Wiener Akademie, 52, (2), 549, 1866.

³⁾ Bližší popis elektromagnetické pružiny viz v článku autorovu: »Upotřebení elektromagnetické pružiny« v Časopisu 55, 209, 1926.

⁴⁾ anebo na fotografické kopii pořizené na citlivém papíru tak, že k němu přiloží se čistá stěna skleněné desky a strana očazená — nefixovaná — osvětlí se paprsky pokud možno rovnoběžnými a k desce kolnými.

Poněvadž druhé diference jsou konstantní — vlivem tření jen přibližně —, jedná se tu o pohyb rovnoměrně zrychlený, jehož grafem

$$s = f(t)$$

jest parabola

$$s = \frac{1}{2} g t^2, \quad t = \frac{n}{N}.$$

Je-li na délce l od počátku pohybu naměřeno n vlnek, platí bez ohledu na tření

$$l = \frac{1}{2} g \left(\frac{n}{N} \right)^2, \quad N = 50 \frac{1}{\text{sek}}.$$

Z rovnice této možno určit g .

Je-li od počátku pohybu měřeno

$$\begin{aligned} r \text{ vlnek na délce } l_r, \\ s \text{ vlnek na délce } l_s, \quad s > r, \end{aligned}$$

platí

$$l_s - l_r = \frac{g}{2N^2} (s + r) (s - r).$$

Je-li měření provedeno až od určitého místa, před nímž je od počátku pohybu n vlnek na délce l (n a l neznámo), pak platí, jak snadno se vyvodí, vztah

$$rs(s - r)g = 2(l_s r - l_r s)N^2;$$

odtud možno určit g .

Je-li délka k -té vlnky — k neznámo — l_k a následující l_{k+1} , platí

$$k = \frac{1}{2} \frac{l_{k+1} + l_k}{l_{k+1} - l_k},$$

ze známého k možno pak určit g , které ovšem vychází od pravé hodnoty odlišné podle toho, jak odstraněno je tření.

Rovnici pohybové dráhy odvodíme z rovnic

$$x = \frac{1}{2} g t^2, \quad y = b \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

z nichž platí druhá pro malé výchylky pružiny z polohy rovnovážné. Z obou rovnic plyne vyloučením t

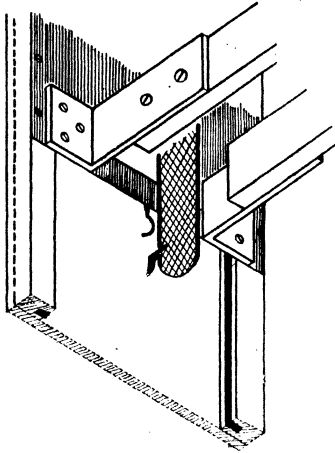
$$y = b \sin \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{2x}{g}}.$$

Je patrné, že $y = 0$ (osové body křivky) pro místa, kde jest splněn vztah

$$t = \sqrt{\frac{2x}{g}} = k \frac{T}{2}, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

odtud

$$x = \frac{1}{2}g(k \cdot \frac{1}{2}T)^2, \quad T = \frac{1}{50} \text{ sek.}$$



Obr. 1.

Na vedlejším obrázci vyznačen je schematicky popsáný padostroj. Proměření vlnovky — 2, 4, 6... vlnek od začátku pohybu měřeno — podává následující tabulka (všechny hodnoty v *cm*):

<i>s</i>	Δs	$\Delta^2 s (=g(2, N)^2)$	<i>g cm/sek²</i>
0·90	2·31		
3·21	3·71	1·40	875
6·92	5·12	1·41	881
12·04	6·55	1·43	894
18·59	8·12	1·57	981
26·71	9·66	1·54	962
36·37			

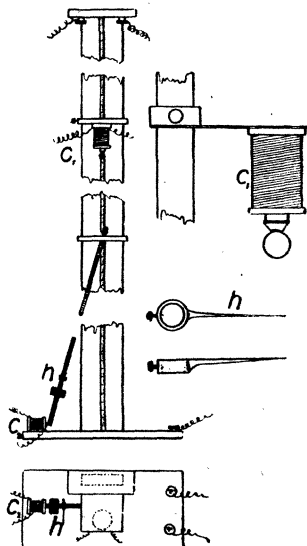
Hodnota ve třetím sloupci není sice konstantní, nemá však také nějakého chodu. Za předpokladu správnosti vztahu

$$s = \frac{1}{2}gt^2, \quad t = n/N$$

udává 4. sloupec hodnotu gravitačního urychlení z měření vycházející — chyba až 10%! — Přesněji dá se gravitační urychlení naměřiti padostrojem následujícím.

Padostroj Obermayer-Edelmannův.⁵⁾

Na sloupu dřevěném, 180 *cm* vysokém, průřezu obdélníkového — 7 × 25 *cm* — jest umístěno kyvadlo — železná tyč s průměrem 1 *cm*, délky 120 *cm*, s posuvnou hmotou — železný válec průměru 7.5 *cm*, výšky 4 *cm*. Na dolním konci kyvadla nad železným válcem jest upevněna kolmo k rovině kyvu příčka ve tvaru jazýčku délky 7 *cm* a tloušťky 1 *mm* — na posunování. Podél sloupu opatřeného milimetrovým měřítkem, dá se posunovati cívka se železným jádrem, dolů zahroceným, sloužící k elektromagnetickému zadržení



Obr. 2.

kuličky ocelové asi 1 *cm* v průměru — ložiskové. Vychýlené kyvadlo dá se rovněž elektromagneticky zachytiti v krajní poloze jádrem cívky na podstavci sloupu upevněné. Obě cívky — 3 *cm* v průměru, 5 *cm* dlouhé s 10 vrstvami drátu 0.5 *mm* — jsou spojeny za sebou. Celý přístroj upevněn je na zdi: dolní podstavec sloupu má rozměry 40 × 18 *cm*, horní 10 × 10 *cm*.

Určíme nejprve dobu kyvu kyvadla při určité poloze hmoty — válce. Cívka na sloupu a jazýček na kyvadle umístěny jsou tak, že kulička cívkou zachycená a pak spuštěná zasahuje klidné kyvadlo a odráží se od jazýčku svisle vzhůru. Pak hledáme takovou polohu cívky na sloupu, aby kulička spuštěná současně s vychýleným kyvadlem, setkala se volně padajíc s kyvadlem v jeho rovnovážné poloze, aby odraz od jazýčku byl zase svisle vzhůru. Pro dráhu

⁵⁾ Physikalische Zeitschrift 4, 413, 1903.

kuličky s — mezi cívkou a jazýčkem — a pro dobu pádu, kterou znovu měříme, platí

$$s = \frac{1}{2}gt^2;$$

odtud určí se gravitační urychlení.

Touto cestou možno určit g s přesností aspoň 1%. Kyvadlo probíhá rovnovážnou polohu rychlostí, jež plyne ze vztahu

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

kde h je výška, s které vychýlené kyvadlo padá do polohy rovnovážné. Snadno se nahlédne z jednoduchého náčrtku správnost vztahů

$$h = l - l \cos \varphi_0 \doteq \frac{1}{2}l \varphi_0^2$$

a tedy

$$v \doteq \sqrt{gl} \cdot \varphi_0.$$

V případě $\varphi_0 = 5^\circ$, což odpovídá při metrové délce kyvadla vzdálenosti z rovnovážné polohy 9 cm — polotětiva k — jest při $l = 90.0$ cm — vzdálenost jazýčku od osy závěsu —

$$v_{\max} = 25.9 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}.$$

Vezmeme-li nejnepříznivější případ, že kulička odráží se svisle vzhůru na kraji jazýčku — 1 mm — t. j. $\frac{1}{2}$ mm od rovnovážné polohy, je příslušná diference časová

$$\pm \frac{1}{2} : 259 = 0.0019 \text{ sekundy}$$

a tuto hodnotu má chyba při době pádu přibližně rovné $\frac{1}{2}$ sekundy. Relativní chyba v gravitačním urychlení jest

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta s}{s} + 2 \frac{\Delta t}{t}$$

a je patrné, že může býti udržena pod 1%.

V našem případě jest k větší, než nahoře udáno — 14.3 cm —, tím je větší i v_{\max} a chyba v době pádu a urychlení menší; střed z 10 měření dával:

$$t = 0.491 \pm 0.001 \text{ sek}, \quad s = 118.2 \pm 0.2 \text{ cm},$$

$$g = 980.6 \pm 5.6 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

Proud do cívek nutno voliti tak, aby kyvadlo i kulička byly vybaveny přerušením proudu současně; jest vhodno na místo stykové mezi jádro cívky a kuličku nalepiti kousek papíru a proud voliti od nejnižší intenzity počínaje tak, aby kulička a kyvadlo při zapjatém proudu právě tíží neodpadávaly.

Padostroj Atwoodův.

Po těchto pokusech a měřeních — z nichž některá mohou být provedena ve cvičeních žákovských — jest vhodno přistoupiti k pokusům na padostroji Atwoodovu a experimenty ukázati, že tu jde o pohyb rovnoměrně zrychlený, jehož zrychlení je zmenšeno oproti urychlení volného pádu. Padostroj Atwoodův, jehož se užívá v našem praktiku, je zcela jednoduše zařízen: Sloup rozměru $210 \times 5 \times 3$ cm s měřítkem centimetrovým, opatřený dole deskou 16×8.5 cm a nahoře deskou 8.5×8.5 cm — tloušťky 3 cm — je připevněn na zdi. Kladka aluminiová tloušťky 4 mm, průměru 12 cm se šesti kruhovými výřezy průměru 3 cm otáčí se kolem osy spočívající na dvou párech kladek menších průměru 3 cm. Hmoty mosazná opatřena jest na spodní podstavě plíškem železným velikosti dvouhaleře k elektromagnetickému zachycení. Příslušná cívka s jádrem jest upevněna na podstavci padostroje; sklopný můstek tu odpadá. Ostatní zařízení jest, jak na přístrojích těch bývá obvyklo.

(Dokončení.)

DROBNOSTI.

Obrácení čáry sodíkové a anomální disperse. Tento překrásný pokus optický možno provésti tím způsobem, že použijeme uspořádání uvedeného v Maškově Fysice II. díl, 4. vyd., str. 77 a násl. Oblouková lampa, kondensator, v místě, kde paprsky se sbíhají, je postaveno stínítko s úzkou štěrbinou asi $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$, kterou zobrazíme čočkou ve vhodné vzdálenosti na stínítku asi 2 m od lampy. Mezi štěrbinu a čočku je postaven plynový hořák opatřený komínem — plechový válec průměru asi 6 cm, výšky 30 cm se dvěma protilehlými výřezy $6 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$, jimiž mohou paprsky z lampy procházeti. Nad ústím Bunsenova kahanu, jež nalézá se na spodku komínu, je zavěšena na železném drátě plechová miska — průměru asi 2 cm — s kouskem kovového sodíku asi $\frac{1}{2} \text{ cm}^3$ tak, aby nad sodíkem mohly paprsky z lampy nerušeně procházeti. Jednoduchá centrace provede se pomocí optické lavice. Dáme-li na stoleček za čočku hranol, nejvhodněji flintový s lámavým úhlem 60° do minima úchylky, dostaneme na stínítku úzký pruh spojitého spektra obloukové lampy. Rozžehneme-li pak plynový hořák, roztaví se sodík na lžičce a vznítí, na stínítku objeví se zprvu převrácená čára sodíková a pak úkaz anomální disperse — zobrazený na př. v Novákové Fysice II., str. 1053, Praha 1921, nebo v barvách v Müller-Pouilletově Lehrbuch der Physik, 10. vyd., II. 3. tab. XXI., Braunschweig 1909. Máme tu případ dvou zkřížených hranolů: hranol — kužel žhoucích par sodíkových a hranol flintový. — Užijeme-li štěrbinu delší, pak při nezměněném uspořádání pozorujeme jen převrácení čáry sodíkové.

Dr. Josef Zahradníček, Brno.