

## Werk

**Label:** Article

**Jahr:** 1934

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?31311028X\\_0063|log144](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?31311028X_0063|log144)

## Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

## Měření doby kyvu pomocí dvojích stopek.

Josef Zahradníček.

(Došlo 27. února 1934.)

Tvoří-li měřená veličina posloupnost at' prostorovou, nebo časovou, jako na př. púlvlny v *Kundtově* trubici, nebo kyvy oscilujícího systému, dá se při měření s výhodou použítí t. zv. metody postupné. Metoda ta spočívá, jak známo, v tom, že měříme  $2n$  ekvidistantních bodů řady resp.  $2n - 1$  hodnot po sobě následujících členů řady (na př.  $n = 10$ ), sestavíme měření do dvou sloupců a utvoříme rozdíly souřadnic bodů  $(n + k)$ -tého a  $k$ -tého, t. j. určíme hodnoty součtů o  $n$  členech řady a to postupně celkem  $n$ -krát. Přesnost výsledku měření takto získaného je taková, jakoby bylo vykonáno  $n^2$  měření, ač ve skutečnosti jich bylo vykonáno jen  $2n$ .<sup>1)</sup>

Nechť se jedná o měření doby kyvu na př. kyvadla reversního. Provádí-li se měření toto v té formě, že jeden pozorovatel čítá kyvy, druhý pak odčítá na stále jdoucích stopkách časy, v nichž kyvadlo prochází rovnovážnou polohou po nulté, po desáté, po dvacáté, . . ., po stodevadesáté, pak vzniká v odečteních chyba, projevuující se ve výsledku hodnotou asi  $\frac{1}{10}$  %, jak na př. je patrné z citovaných „*Základů praktické fysiky*“, kde jest uvedena touto cestou naměřená hodnota doby kyvu

$$t = (0,9968 \pm 0,0009) \text{ sec,}$$

t. j. s chybou 0,1 %.

Použijeme-li k měření předešlému dvojích stopek, můžeme přesnost měření až desetkrát zvýšiti. Postup měření je následující: Jeden pozorovatel sleduje stále jen chod kyvadla, čítá kyvy, druhý pozorovatel se stopkami sleduje kyvadlo jen ve význačných okamžicích, kdy kyvadlo prochází rovnovážnou polohou po nulté, po dvacáté, po čtyřicáté, . . . V těch okamžicích stiskne oboje stopky, z nichž jedny jsou v chodu, druhé na nule, odečte čas na stopkách, které šly, zapíše jej, uvede stopky ony na nulu a při dalším význačném průchodu kyvadla nulovou polohou tuto práci znovu

<sup>1)</sup> Srovnej na př. F. Kohlrauch: *Lehrbuch der praktischen Physik*, 14, 112, Leipzig 1923; B. Macků, V. Novák, F. Nachtikal: *Základy praktické fysiky* 3, 16, Brno 1931.

opakuje, a to celkem  $2n$ -krát ( $n = 10$ ). Doba 20 sekund postačí druhému pozorovateli úplně k tomu, aby oboje stopky současně stiskl, čas na jedné odečetl, zapsal a stopky ty na nulu uvedl, dle údajů prvního pozorovatele čítajícího kyvy dal pozor na další význačný průchod kyvadla nulovou polohou a zachytil jej okem i stopkami. První pozorovatel má vlastně za úkol sledovat indexy jednotlivých členů časové řady, aby pozorovatel druhý, nestarající se o sled kyvů, mohl časově zachytit co nejpřesněji význačný kyv  $20k$ -tý, kde  $k = 0, 1, 2, \dots, 19$ . Netřeba snad připomínati, že stopky musí býti před měřením srovnány se sekundovým kyvadlem na př. ve  $20 \times 20$  kyvech i více, aby byla známa jejich korekce. Vhodným je tu rovněž měření metodou postupnou, jak byla svrchu popsána.

Jako příklad uvádím tu měření doby kyvu u jednoho z reversních kyvadel užívaných ve fyzikálních cvičeních. Kyvadlo toto je vytvořeno z tyče železné 133,2 cm délky a kruhového průřezu o průměru 1,00 cm. Dva trojboké břity ocelové o hraně 6 mm jsou upevněny kolmo k ose kyvadla ve vzdálenosti od konců 17,7 cm a 16,6 cm. Na tomto konci nese kyvadlo posuvný válec železný rozměrů  $2r = 7,30$  cm,  $v = 4,22$  cm a hmoty 1231 g. Je-li reversní kyvadlo justováno, je hmota vzdálena od bližšího konce o 12,41 cm. Doba kyvu je v tom případě

$$t = (0,9973 \pm 0,0001) \text{ sec.}$$

Při vzdálenosti obou břitů kyvadla

$$l = (98,843 \pm 0,0015) \text{ cm}$$

(z 10 měření) plyne pro gravitační zrychlení v Brně hodnota

$$g = 980,8 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

s chybou 0,02%, což v mezích přesnosti dosti dobře souhlasí s hodnotou, kterou z relativních měření v Brně vzhledem k Postupimi naměřil Kladivo<sup>2)</sup>

$$g = (980,962 \pm 0,001_4) \text{ cm/sec}^2.$$

Svrchu uvedená přesnost v laboratorním měření gravitační intensity  $g$  dá se ještě asi dvakrát zvýšiti, užijeme-li odčítání zrcadlového s dalekohledem a škálou. K tomu účelu jsou na kyvadle těsně u břitů připojena zrcátka v rovině svislé a kolmé k rovině kyvu. Škála jest upevněna svisle vedle dalekohledu. Ložisko pro závěs kyvadla je na nosníku formy  $U$ , zasazeném kolmo do zdi, ve

<sup>2)</sup> B. Kladivo: Rozpravy čs. akademie XI, č. 10 a 11, 1930.

vhodné výšce nad podlahou (asi 120 cm) a ve vzdálenosti od zdi asi 25 cm. Amplitudy nutno voliti dostatečně malé, aby bylo možno správně zachytit průchod kyvadla nulovou polohou. Výhodno je též odčítati průchod světelného indexu na svislé škále po odrazu světelného paprsku na zrcátku. Hodnota pro intenzitu zemského pole takto získaná byla

$$g = (980,7_5 \pm 0,2) \text{ dyna/gram.}$$

Ještě větší přesnosti možno v měření doby kyvu docílití, provedeme-li dvojími stopkami 20 odečtení po 100 kyvů, při čemž odčítáme dalekohledem.

Budiž ještě připomenuto, že při laboratorních měřeních doby kyvu dá se použítí také metody koincidenční tak upravené, že kyvadlo sekundární (na př. reversní) je zapjato do kruhu s kyvadlem primárním, na př. sekundovým. Signálem koincidenčí jsou záblesky neonové lampy zapjaté do vedení s oběma kyvadly; zdrojem proudu je střídavý proud 110 voltů, 50 period za sek. Koincidence trvají potud, pokud obě kyvadla procházejí současně rtuťovými kontakty. Je-li amplituda kyvadla  $A$  (vzdálenost mezi krajními polohami), průměr kontaktu rtuťového  $a$ , doba kyvu  $T$ , je doba, po kterou kyvadlo prochází kontaktem,\*)

$$\tau = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{a}{A} T.$$

K vůli jednoduchosti volme  $a$ ,  $A$  u obou kyvadel stejné. Je-li celkový počet koincidenčí bezprostředně po sobě následujících (záblesků)  $n$ , rozešla se kyvadla celkem o

$$(T - T_x) n = 2 (\tau + \tau_x), \quad \tau_x = \frac{2}{\pi} \frac{a}{A} T_x,$$

z toho plyne

$$T_x = \left( 1 - \frac{4}{\pi} \frac{a}{A} \cdot \frac{1}{n} \right) T.$$

Obecně jest

$$T_x = \frac{\left( 1 - \frac{2}{\pi} \frac{a}{A} \cdot \frac{1}{n} \right)}{\left( 1 + \frac{2}{\pi} \frac{a_x}{A_x} \cdot \frac{1}{n} \right)} T.$$

\*) Pro rychlost kyvadla v rovnovážné poloze platí

$$\varphi'_{\max} = \frac{2\pi}{T} \sin \frac{1}{2} \varphi_0,$$

kde  $\varphi_0$  je maximální výchylka z nulové polohy. Dále jest

$$\sin \frac{1}{2} \varphi_0 = \frac{1}{2} \varphi_0 = \frac{1}{2} A/l, \quad a = l \varphi'_{\max} \tau.$$

V jednom našem případě bylo:  $a = 0,76$  cm,  $A = 9,20$  cm,  $n = 83,3$  (střed z 10 měření);  $T = 1,0000$  sec; v době  $11^m 31,8^s$  (střed z 10 měření) různila se obě kyvadla o 1 kyv. S tímto výsledkem  $T_x = 0,9986$  sec vychází shodně na  $1/100\%$  pro dobu kyvu  $T_x = (1 - 0,00126)$  sec.

Je-li doba kyvu oscilujícího systému dostatečně dlouhá  $T \geq 20$  sec, stačí k celému měření dvojími stopkami jediný pozorovatel. V tom případě určíme každý průchod nulovou polohou (půlperioda), případně průchody stejným směrem (perioda). Jako příklad uvádíme tu měření doby kyvu u torsních vah a to ve dvou polohách vahadla vzájemně kolmých. Váhy jsou zavěšeny ve skleněném válci upevněném na třínožce se třemi stavěcími šrouby. Vahadlo je z aluminiového drátu 23,2 cm délky a 3 mm průměru, s olovenými kuličkami o hmotě 40,48 g na koncích. Závěsný drát je platinoiridiový délky 14 cm a průměru 0,05 mm. Mezi vahadlem a závěsným drátem je spojka z drátu mosazného 14 cm délky a 2 mm průměru, jež na horním konci nese zrcátko 1 cm průměru pro odčítání dalekohledem se škálou. Závěs se zrcátkem je v trubici mosazné 40 cm délky a 2,8 cm průměru, jež je svisle upevněna na kovovém kotouči příkrývajícím skleněný válec ( $2R = 26$  cm,  $h = 13$  cm). Hlava nesoucí závěs jest opatřena mikrometrickým šroubem na jemnou justaci vahadla v rovině vodorovné. Váhy i s obalem dají se kolem svislé osy otočiti do žádaných azimutů. Rovnovážná poloha vahadla je na škále vyznačena aspoň přibližně; případné nesrovnalosti v kyvech po obou stranách vyznačené polohy jsou vyrovnány při zpracování výsledků.

V následujícím jsou uvedeny doby kyvu a to jednak postupně odečtené na obojích stopkách, jednak sestavené v tabulce.

*Měření torsními vázkami* ve sklepě fyzikálního ústavu 13./8. 1933 při teplotě stálé  $\vartheta = 18,5^\circ$  C.

a) *Vahadlo v poloze ekvatoreální.*

Doby kyvu:

2m 4,0s	2m 4,2s	2m 4,8s	2m 3,4s
4,6	4,6	4,6	5,0
4,4	4,0	4,6	4,0
4,2	4,6	4,0	5,0
4,8	4,2	4,8	

Odtud plyne pro dobu kyvu v azimutu ekvatoreálním

$$T = 2^m 4,42^s \pm 0,01^s.$$

b) *Vahadlo v poloze polární.*

Tabulka 1.

$k$	$t_k$	$t_{k+10}$	$\Delta t \equiv 10T$	$\Delta$	$\Delta^2$
1	0m 0,0 <sup>s</sup>	20m 43,6 <sup>s</sup>	20m 43,6 <sup>s</sup>	0,6	0,36
2	2 4,0	22 48,4	44,4	2	04
3	4 8,6	24 53,0	44,4	2	04
4	6 13,0	26 57,6	44,6	4	16
5	8 17,2	28 61,6	44,4	2	04
6	10 22,0	30 66,4	44,4	2	04
7	12 26,2	32 69,8	43,6	6	36
8	14 30,8	34 74,8	48,0	2	04
9	16 34,8	36 78,8	44,0	2	04
10	18 39,4	38 83,8	44,4	2	04
			$10\bar{T} =$ 20m 44,1 <sub>8</sub> <sup>s</sup>	$\Sigma\Delta^2 = 1,16$	

Doby kyvu:

1m 59,8 <sup>s</sup>	2m 9,2 <sup>s</sup>	1m 59,8 <sup>s</sup>	2m 9,2 <sup>s</sup>
2 9,4	1 59,6	2 8,8	1 59,8
1 59,2	2 9,6	1 59,4	2 9,0
2 9,0	1 59,4	2 9,0	1 59,8
1 59,4	2 9,2	1 59,6	

Tabulka 2.

$k$	$t_k$	$t_{k+10}$	$\Delta t \equiv 10T$	$\Delta$	$\Delta^2$
1	0m 0,0 <sup>s</sup>	20m 43,8 <sup>s</sup>	20m 43,8 <sup>s</sup>	0,3	0,09
2	1 59,8	22 43,6	8	0,3	0,09
3	4 9,2	24 52,4	2	0,3	0,09
4	6 8,4	26 51,8	4	0,1	0,01
5	8 17,4	28 60,8	4	0,1	0,01
6	10 16,8	30 60,4	6	0,1	0,01
7	12 26,0	32 69,6	6	0,1	0,01
8	14 25,6	34 69,4	8	0,3	0,09
9	16 35,2	36 78,4	2	0,3	0,09
10	18 34,6	38 78,2	6	0,1	0,01
			$10\bar{T} =$ = 20m 43,5 <sub>4</sub> <sup>s</sup>	$\Sigma\Delta^2 = 0,50$	

Odtud plyne pro dobu kyvu v azimutu polárním

$$T = 2^m 4,35^s \pm 0,01^s.$$

Dosažená přesnost 0,01 % dá se ještě zvýšiti prodloužením řady měření a to tak, že měříme  $k$  členů na začátku řady a  $k$  členů na konci řady, přeskočivše  $i$  členů mezi tím se nalézajících, na