

Měření tíhového zrychlení z doby kyvu kyvadla. Pro dobu kmitu  $T$  matematického kyvadla délky  $l$  platí známý vzorec

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (2,19)$$

v němž  $g$  je tíhové zrychlení. Necháme-li těžkou kouli kývat na tenkém, lehkém, např. hedvábném vlákně, můžeme se velmi přiblížit podmínkám, za kterých byla rovnice (2,19) odvozena.

Vezměme ocelovou kouli poloměru menšího než 1 cm, kterou zavěsíme na 1 m dlouhé vlákno s délkovou hustotou, tj. s hmotou vlákna jednotkové délky  $5 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^{-1}$  a amplitudu kmitů omezíme na  $1,5^\circ$ . V tomto případě chyby dané přibližností vzorce (2,19), která souvisí s tím, že kyvadlo není ideálně matematické a amplituda kmitů je konečná, dosáhnou hodnoty asi 0,01 %. Z měření doby kyvu takového kyvadla můžeme jednoduše určit tíhové zrychlení  $g$ . Změříme-li pásovým měřítkem délku  $l$  kyvadla s přesností 0,2 %, udáme-li  $\pi$  na dvě desetinná místa a dobu kmitu  $T$  určíme stopkami z měření doby 50 až 100 kmitů s přesností přibližně 0,2 %, dostaneme tíhové zrychlení

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2,20)$$

s přesností lepší než 1 %.

Přesnějších výsledků lze dosáhnout při měření tíhového zrychlení *reversním kyvadlem*. Je známo, že fyzické kyvadlo kývá se stejnou dobou kmitu kolem dvou rovnoběžných os ležících v rovině, která prochází těžištěm kyvadla, ve dvou případech:

- jsou-li tyto dvě osy symetricky položené vzhledem k těžišti,
- jsou-li tyto dvě osy od sebe vzdálené o redukovanou délku fyzického kyvadla.

Pro experimentální využití je důležitý případ b). Nalezneme-li v kyvadle dvě rovnoběžné osy, kolem nichž kývá kyvadlo se stejnou dobou kmitu, a leží-li tyto osy v rovině procházející těžištěm tak, že jsou vůči němu nesymetricky rozloženy, víme, že vzdálenost mezi nimi je redukovaná délka kyvadla  $l_r$ . Pro dobu kmitu  $T$  fyzického kyvadla s redukovanou délkou  $l_r$  platí vzorec shodný s (2,19), v němž  $l$  zaměníme za  $l_r$ , tj.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_r}{g}} \quad (2,21)$$

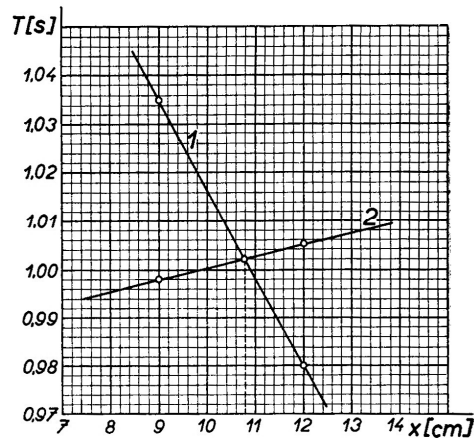
(O reversním kyvadle viz podrobněji např. [5], str. 267–270).

Konkrétní provedení reversního kyvadla může být různé. V jednom provedení je reversní kyvadlo tyč s dvěma rovnoběžnými břity vzdálenými o pevnou vzdálenost  $L$ . Na jednom konci tyče je upevněna těžká kovová čochka, aby bylo dosaženo nesymetrie. Dále je kyvadlo opatřeno zařízením, kterým je možné měnit polohu těžiště vůči břítům. Buď je těžká čochka posuvná po šroubu, nebo je na tyči posuvný přivažek. Posunováním čochky nebo přivažku dosáhneme toho, že kyvadlo kývá kolem obou os se stejnou dobou kmitu  $T$ . V tom případě je  $L$  redukovaná délka kyvadla a  $g$  vypočteme z rovnice (2,21), do které za  $l_r$  dosadíme  $L$ .

Pro určení polohy přivažku nebo čochky, při které kyvadlo kývá kolem kterékoli z obou os se stejnou dobou kyvu, je vhodné užít grafické interpolace (obr. 2,9). Ujijeme k tomu grafu, na jehož osu  $x$  vynášíme polohu přivažku a na osu  $y$  příslušné doby kmitu kyvadla. Jelikož doby kmitu kolem obou os kyvadla nejsou přesně stejné, přísluší každé poloze přivažku dvě doby kmitu, jedna pro dobu kmitu kolem jedné osy, druhá pro dobu kmitu podle druhé osy kyvadla. Změříme doby kmitu kolem obou os pro dvě různé polohy přivažku. Spojíme přímkou body odpovídající dobám kmitu kolem stejné osy. Získáme dvě přímky; souřadnice  $X$  jejich průsečíku udává polohu přivažku, při které provedeme další měření. Při této poloze přivažku budou již pravděpodobně doby kmitu kolem obou os v mezích pozorovacích chyb stejné. Budou-li se přesto ještě lišit, provedeme postup grafické interpolace znovu s polohami přivažku blízkými hodnotě příslušné průsečíku  $X$  obou přímek.

Na obr. 2,9 je znázorněn praktický příklad grafické interpolace při měření s reversním kyvadlem. Pro polohu přivažku, která je určena parametrem  $x = 9$  cm, byla naměřena doba kmitu pro první osu 1,035 s, pro druhou osu 0,998 s. Při poloze přivažku pro  $x = 12$  cm byla doba kmitu kolem první osy 0,980 s, kolem druhé osy 1,005 s. Z grafu plyne, že další měření je vhodné provádět pro polohu přivažku  $x = 10,8$  cm.

Při běžném měření, jaké se koná např. ve fyzikální praktiky, lze dosáhnout přesnosti v určení  $g$  asi 0,5 %. Délku  $L$  změříme pásovým měřítkem, dobu kmitu  $T$  určíme stopkami z měření 50 až 100 kmitů,  $\pi$  udáme na dvě desetinná místa a rozkmit volíme menší než  $4^\circ$ . Při velmi pečlivém měření, kývá-li kyvadlo ve vakuu a měří-li se velký počet kmitů, lze dosáhnout přesnosti ještě daleko větší.



Obr. 2,9. Grafická interpolační metoda pro určení polohy přivažku reversního kyvadla