Návod k použití

Žákovská cvičení lavice Pohyb
Obj. číslo 116.2020

Upozornění:
Skutečné vybavení sady pro provádění pokusů se může mírně lišit od vyobrazení v této dokumentaci, protože naše výrobky neustále inovujeme.

CONATEX – DIDACTIC UČEBNÍ POMŮCKY s.r.o. – Velvarská 31 – 160 00 Praha 6
Tel.: 224 310 671 – Tel./Fax: 224 310 676
Email: conatex@conatex.cz – http: www.conatex.cz

Témata

1. Pohyb
2. Pohyb je relativní
3. Vztažná soustava
4. Jaké fyzikální veličiny definují pohyb?
5. Dráhy pohybu
6. Pojem vzdálenosti
7. Experimentální analýzy pohybů
8. Průměrná rychlost
9. Okamžitá rychlost
10. Průměrné zrychlení
11. Okamžité zrychlení
12. Různé druhy pohybu
13. Přímočarý rovnoměrný pohyb
14. Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb
15. Princip setrvačnosti
16. Základní zákon dynamiky
17. Třecí síly
18. Experimentální ověření základního zákona dynamiky
19. Zachování energie
20. Volný pád
21. Periodické pohyby
22. Jednoduché kyvadlo
23. Gravitační zrychlení
24. Vlastnosti pružin
25. Elastické kyvadlo

Obsah

1 tyč s hákem
1 provázek pro provádění pokusů
2 dvojité objímky
1 skládací metr
9 závaží à 10 g s držákem
1 tyč stojanu 75 cm
1 podstavec stojanu
1 úhloměr
1 spirálová pružina
1 chronometr s 2 vidlicovými světelnými závorami a držáky světelné závory
1 jízdní dráha
1 jízdní vozík
1 pár kyvných koulí
1 závaží s háčkem 5 g
1 závaží s háčkem 8 g
1 držák na závaží 20 g
1 dřevěný blok
1 kladka pro provázek na tyči
1 šroubovák
1 box

Výměna baterie v chronometru

Odstraňte 4 šrouby na zadní straně chronometru a následně víko. Vyjměte baterii a nahraďte ji novou. Použijte výhradně alkalickou 9V baterii. Nedoporučujeme používat žádné akumulátory.

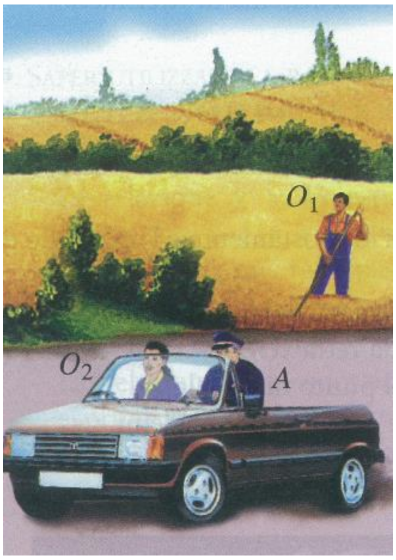
Přehled materiálu

1. Pohyb

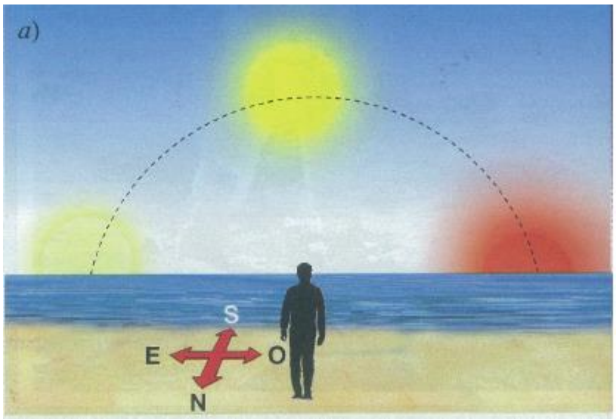
Pohyb je jev, který se týká veškeré hmoty. U celku i jeho nejmenších částic. Molekuly se pohybují v tělesech, atomy kmitají v molekulách. Elektrony se pohybují v atomech, buněčná jádra v buněčných strukturách. Četné vlastnosti hmoty, jako například tepelná a elektrická vodivost, teplota a elektřina souvisejí s pohybovými stavy v mikroskopickém rozsahu. Můžeme proto říci, že pochopení pohybu představuje klíč k pochopení vesmíru.
Galileo Galilei jednou řekl „*Ignato motu, ignatur natura*“ – Když rozumíme pohybu, rozumíme přírodě.

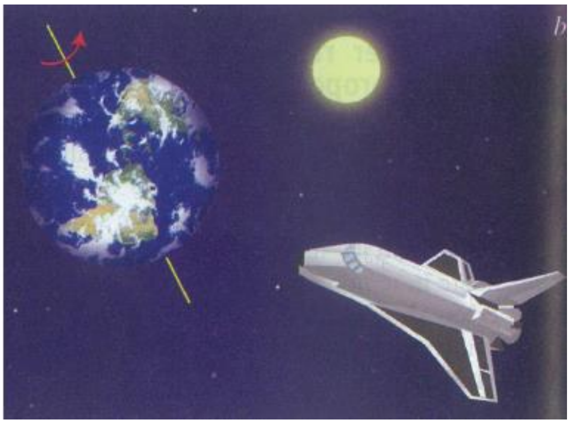
2. Pohyb je relativní

Osoba ve vozidle ***A*** se pohybuje ve vztahu k osobě $\boldsymbol{O_1}$, která stojí na kraji silnice. Nepohybuje se však ve vztahu ke spolujezdci $\boldsymbol{O_2}$, který sedí vedle něj.



Každý obyvatel na naší planetě vidí Slunce vycházet na východě a zapadat na západě. Astronaut ve vesmíru pozná, že Slunce je stacionární a Země se točí kolem své osy.





To ukazuje, že pohyb všeho druhu je vždy relativní jev, jehož vlastnost závisí na příslušném pozorovateli.

Závěrem lze konstatovat:

Těleso, které je v pohybu ve vztahu k pozorovateli O, zaujímá v průběhu času různé polohy ve vztahu k pozorovateli.

Proto je velmi důležité určit polohu tělesa ve vztahu k pozorovateli v každém jednotlivém okamžiku.

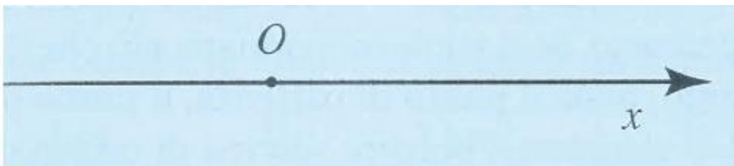
To nás vede k pojmu *vztažná soustava*.

3. Vztažné soustavy

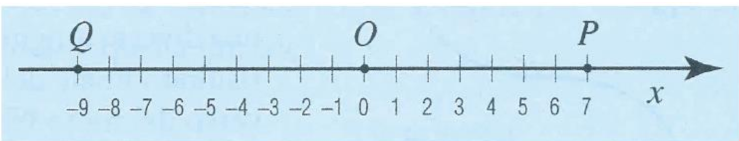
Polohu tělesa, které se může pohybovat ve vztahu k pozorovateli, lze ve vztažné soustavě identifikovat takto:

Pohyb je přímočarý

Pokud se vozidlo pohybuje na rovné silnici, je jeho poloha definována ve vztahu k pozorovateli ***O*** přiřazením přímky ***X*** vedoucí bodem ***O***. Pozorovatel tvoří počátek soustavy. Orientace směru pohybu je vyznačena šipkou.

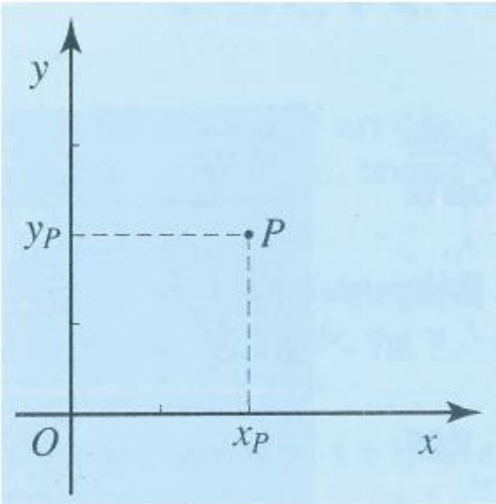


Tímto způsobem je definována poloha pohybujícího tělesa ***P*** ve vztahu k pozorovateli ***O*** vzdáleností ***x = OP***, nazývanou ***„úsečka"***. Počítání vpravo od bodu ***O*** se provádí s kladnými čísly, vlevo se zápornými čísly. Na níže uvedeném příkladu je úsečka ***Q*** -9.

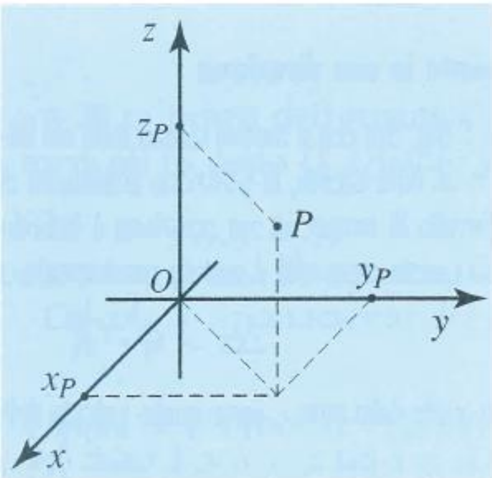


Pohyb není přímočarý

Pohybuje-li se osoba v rovině, musí se vztažná soustava skládat ze dvou vzájemně kolmých přímek, ***osy x*** a ***y***. (Poznámka: Zde používáme výhradně pravoúhlou souřadnicovou soustavu. Alternativní soustavy zde zůstávají nezohleděněné). Poloha ***P*** je definována souřadnicemi x_P a y_P.

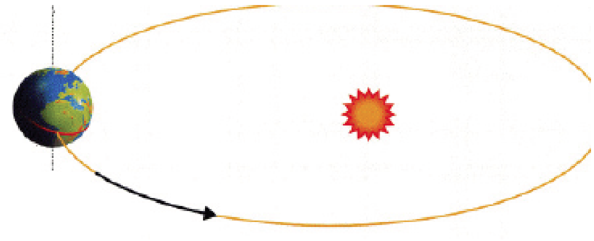


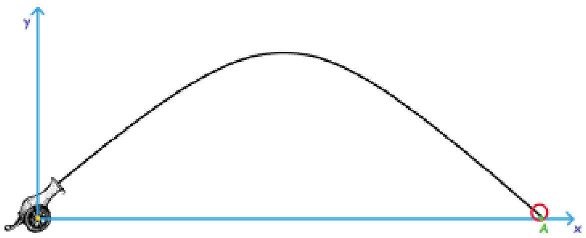
Pro stanovení polohy letadla ***P*** se musí vztažná soustava skládat ze tří vzájemně kolmých přímek, tedy ***os x***, ***y*** a ***z***. Proto je jeho poloha definována třemi souřadnicemi x_P , y_P a z_P.



5. Dráhy pohybu

Ve vztahu k pozorovateli je těleso v pohybu, pokud v různých dobách zaujímá různé polohy. Důsledek poloh, které jsou během pohybu zaujímány, se označuje jako *dráha pohybu*.
U příkladu vozidla, které jede z místa ***A*** do místa ***B***, je dráha pohybu definována průběhem silnice.
Při přímočarém pohybu je dráha pohybu přímka, při kruhovitém pohybu je dráhou kruhový pohyb. Koule vystřelená z kanónu opisuje parabolu (parabolická dráha pohybu).

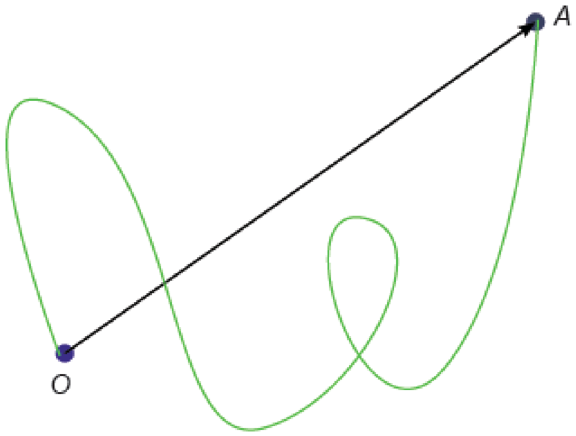




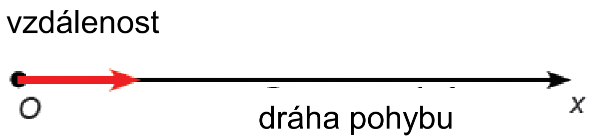
elektrická dráha pohybu planety   parabolická dráha pohybu koule vystřelené z kanónu

6. Pojem vzdálenosti

Pro přemístění z bodu O do bodu A existuje nekonečný počet drah pohybu. Jedna možnost je uvedena na následujícím obrázku. Každá dráha pohybu pokrývá různou délku dráhy.



Existuje však jedna veličina, která je u všech různých drah pohybu stejná, tedy konstantní, Tato veličina se nazývá ***vzdálenost***. Označuje nejkratší cestu mezi počátečním bodem O a (cílovou) polohou A.
Jen v jednom jediném případě je vzdálenost identická s dráhou pohybu, když je dráha pohybu přímočará.



7. Experimentální analýzy pohybů

Seznámili jste se s významem nejdůležitějších základních pojmů, které se používají k teoretickému popisu pohybů, takže můžete začít s experimentální analýzou pohybů.

K provedení základních pokusů na téma pohybu se hodí tato lavice s příslušenstvím. Lze s ní provádět všechny pokusy k přímočarému rovnoměrnému pohybu a rovnoměrně zrychlenému přímočarému pohybu.

K měření času se používají světelné závory s vhodným chronometrem, které jsou rovněž součástí sady.

jízdní dráha s jízdním vozíkem vidlicová světelná závora s držákem

Vidlicové světelné závory

Vidlicová světelná závora je elektronický přístroj sestávající ze světelného zdroje (vysílače) a přijímače citlivého na světlo, na který dopadá světelný paprsek. Je-li světelný paprsek přerušen, vytvoří se elektrický signál, který je zaslán do připojeného chronometru. Ve spojení s jednou nebo dvěma světelnými závorami jsou možné různé konfigurace pro měření času.

Chronometr

Chronometr jsou elektronické stopky, jejichž pomocí lze změřit časy mezi dvěma událostmi s vysokou přesností (přesnost 1 ms). Události jsou snímány světelnými závorami. K chronometru lze připojit světelné závory. Lze jej také ovládat ručně pomocí tlačítka *START/STOP* (manuální obsluha).

Manuální měření času

Pokus 1

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel*

K použití chronometru jako stopky připojte propojovací kabel k chronometru. Druhý konec kabelu zapojte do vidlicové světelné závory (viz následující obrázek).

Displej krátce ukáže hodnotu ***1***. Poté displej ukazuje hodnotu ***0.000***

Nyní lze přístroj použít jako jednoduchý čítač.

Pokud stisknete tlačítko Start/stop nebo přerušíte světelný paprsek světelné závory, spustí chronometr zaznamenávání času. Pokud nyní znovu stisknete tlačítko Start/stop, čítač se zastaví. Stisknutím tlačítka Reset se čítač vynuluje.

Poznámka: Nepřerušujte světelnou závoru během měření času. V tom případě vynulujte čítač stisknutím *tlačítka Reset*.

Odpojením chronometru od světelné závory se čítač vrátí zpět do svého továrního nastavení.

Automatické měření času

Při všech analýzách pohybů je nezbytné definovat měřený časový interval přes určitou dráhu. Měření může zpravidla probíhat automaticky. Z toho vyplývají reprodukovatelné výsledky měření. V následujících dvou pokusech se naučíte, jak zacházet s chronometrem pro automatický záznam času.

Pokus 2

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel.*

Umístěte jízdní vozík jako na obrázku a na střed jízdní dráhy upevněte světelnou závoru s držákem.

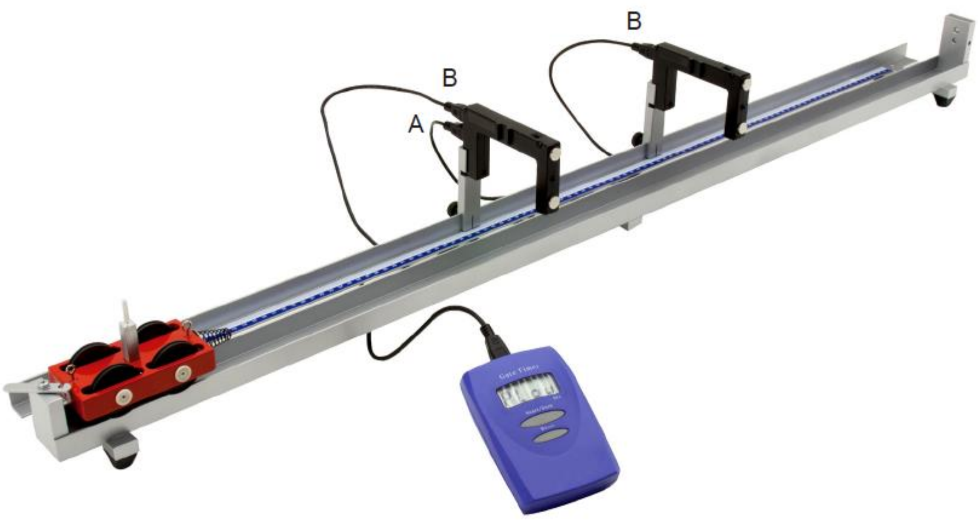
Připojte chronometr pomocí kabelu k přípojce B a nechte vozík jet. Měření času se spustí poté, co vozík přeruší světelný paprsek světelné závory.

Pro zastavení měření času stiskněte *tlačítko Start/stop*. Čas se zobrazí na displeji. Pro resetování hodnoty na displeji stiskněte *tlačítko Reset*.

Pokus 3

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr,*
2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely.

Umístěte jízdní vozík znovu na levou stranu jízdní dráhy. Upevněte druhou světelnou závoru ve vzdálenosti cca 30 cm vpravo od první světelné závory.



Nyní propojte chronometr pomocí kabelu s přípojkou B první světelné závory. Pomocí druhého kabelu propojte přípojku A stejné světelné závory s přípojkou B druhé světelné závory. Nyní stiskněte *tlačítko Reset*. Chronometr je připraven k měření.
Nyní lehce postrčte jízdní vozík. Jakmile jízdní vozík přeruší světelný paprsek první světelné závory, spustí se měření času. Přerušení světelného paprsku druhé světelné závory zastaví měření času. Na displeji se zobrazí čas Δt, který potřebuje jízdní vozík k projetí oběma světelnými závorami.

8. Průměrná rychlost

Pohybuje-li se těleso v přímce x k okamžiku t_1 ve vzdálenosti x_1 od pozorovatele a má-li k okamžiku t_2 vzdálenost x_2 k pozorovateli, urazilo těleso v časovém intervalu $t_1 - t_2$ vzdálenost $x_2 - x_1$.

Jako *průměrná rychlost* tělesa je definován následující vztah:

$$\text{průměrná rychlost} = \frac{\text{ujetá rychlost}}{\text{potřebný čas}}$$

Měření průměrné rychlosti je vždy měření průměrné vzdálenosti za časovou jednotku.

V mezinárodní soustavě jednotek jsou uvedeny vzdálenosti v jednotce m (metry) a časy v jednotce s (sekundy). Pro běžně používaný údaj rychlostí km/h (kilometry za hodinu) vyplývá následující přepočet:

1 km = 1000 m a 1 h = 3600 s

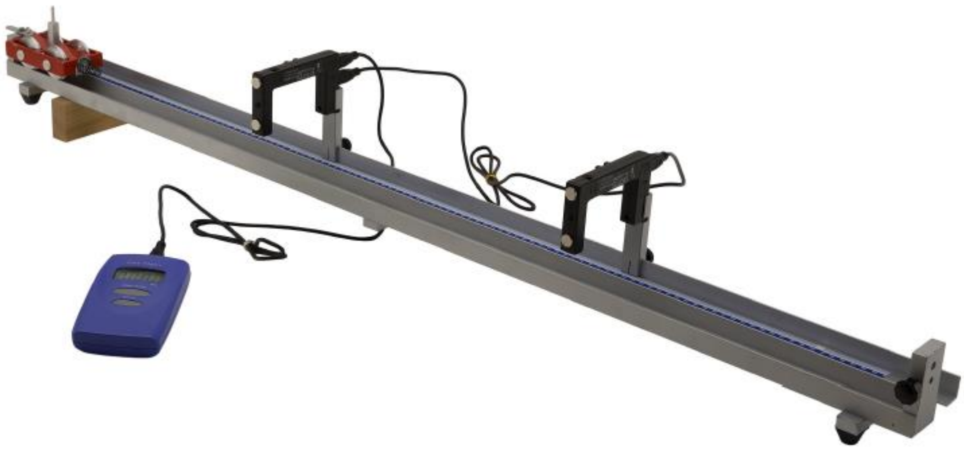
z toho vyplývá: $1\ \text{km/h} = \frac{1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = \frac{1}{3{,}6}\ \text{m/s}$ nebo $1\ \text{m/s} = 3{,}6\ \text{km/h}$

Pro přepočet z km/h na m/s je nutné hodnotu vydělit 3,6 a pro přepočet z m/s na km/h je nutné hodnotu vynásobit 3,6.

Pokus 4

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr,*
2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 dřevěný blok.

Proveďte následující kroky:
Postavte dřevěný blok pod levou stranu jízdní dráhy. Vytvoříte tak nakloněnou rovinu. Postavte jízdní vozík vlevo na jízdní dráhu a zafixujte vozík háčkem proti odjetí. Připojte obě světelné závory jako u pokusu 3 k chronometru.



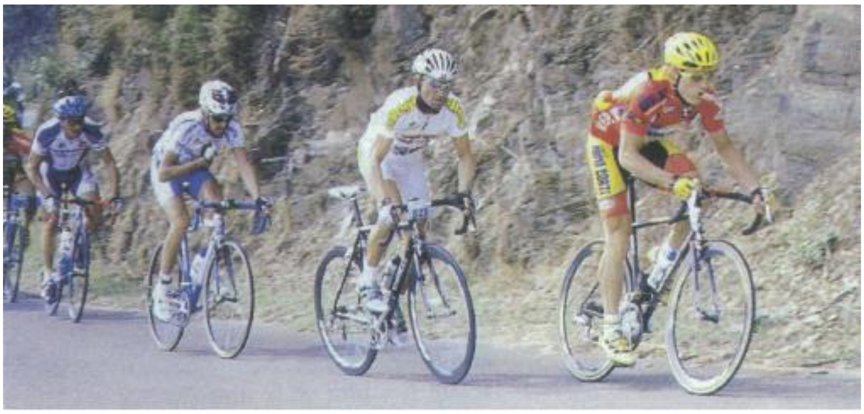
Nyní umístěte první světelnou závoru do polohy $\boldsymbol{x_1 = 0{,}4\ m}$ a druhou světelnou závoru do polohy $\boldsymbol{x_2 = 0{,}8\ m}$. Výsledkem je vzdálenost mezi světelnými závorami $\boldsymbol{\Delta x = x_1 - x_2 = 0{,}4\ m}$. Pro měření času $\boldsymbol{\Delta t}$ uvolněte jízdní vozík a nechte jej projet oběma světelnými závorami. Chronometr měří dobu průjezdu s rozlišením 1/1000 s = 1 ms. Pokus několikrát opakujte. Zapište si příslušné časy a vytvořte aritmetický průměr. Zaokrouhlete vypočítanou průměrnou hodnotu na 2 místa a desetinnou čárkou. Pokud například naměříte $\boldsymbol{\Delta t = 0{,}98\ s}$, pak platí:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0{,}40\ \text{m}}{0{,}98\text{s}} = 0{,}41\ \text{m/s}$$

9. Okamžitá rychlost

Při sportovních akcích, například při cyklistických závodech, se často hovoří o „průměrné rychlosti“. Pak se říká, že vítěz závodu jel průměrnou rychlostí například 46 km/h. To znamená, že pro dráhu, kterou ujel, je výsledkem vypočítaná rychlost 46 km/h. Je jasné, že cyklista jel z kopce rychleji a do kopce pomaleji.

Cyklista by také zvítězil, kdyby celou trasu projel konstantní rychlostí 46 km/h.



Pro analýzu tohoto jevu v souvislosti s drahami pohybu je nezbytné se seznámit s novou fyzikální veličinou, ***okamžitá rychlost***. Je to rychlost tělesa k určitému okamžiku nebo v určitém bodě dráhy pohybu.

Jak změřím okamžitou rychlost?

Předpokládejme, že se těleso pohybuje v přímce $\boldsymbol{x}$ (přímočarý pohyb) s proměnnou rychlostí. Naším cílem je stanovit rychlost k určitému okamžiku $\boldsymbol{t_0}$ ve vztahu k určité poloze $\boldsymbol{A}$.

Pokud bezprostředně po okamžiku $\boldsymbol{t_0}$, v časovém intervalu $\boldsymbol{\Delta t}$ urazí těleso dráhu $\boldsymbol{\Delta x}$, definuje vztah $\boldsymbol{\Delta x/\Delta t}$ průměrnou rychlost v časovém intervalu $\boldsymbol{\Delta t}$.
Tento vztah s určitostí neodpovídá rychlosti k (počátečnímu) okamžiku $\boldsymbol{t_0}$.
Je však zjevné, že čím menší je časový interval $\boldsymbol{\Delta t}$ a přitom ujetá dráha $\boldsymbol{\Delta x}$, tím přesněji bude vztah $\boldsymbol{\Delta x/\Delta t}$ definovat aktuální rychlost k okamžiku $\boldsymbol{t_0}$.

Z toho bezprostředně vyplývá:
Rychlost k okamžiku t_0 se rovná průměrné rychlosti v nekonečně malém časovém intervalu bezprostředně po t_0.

Užitečná metoda zjišťování okamžité rychlosti je popsána v následujícím pokusu.

Pokus 5

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr,*
1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 dřevěný blok.

Sestavte pokus podle následujícího obrázku. Umístěte světelnou závoru na souřadnici x ***x= 0,6 m***.
Nyní **současně** stiskněte tlačítka ***Start/stop*** a ***Reset*** a zapojte zástrčku k světelné závoře do zdířky chronometru. Na displeji se krátce zobrazí ***1***. Poté se na displeji zobrazí ***0.000***. Nyní otevřete aretaci a nechte jízdní vozík projet světelnými závorami.

Tímto způsobem přeruší světelný paprsek na dobu ***Δt*** kvadratický hliníkový blok na jízdní dráze. Tento čas se zobrazí na displeji chronometru. Pokud se zobrazí například hodnota ***Δt = 0,023 s*** a délka zatemňujícího hliníkového dílu je 0,01 (= 1 cm), vypočítá se v poloze ***x=0,6 m*** rychlost:

$$a_m = \frac{(30 - 20)\ \text{m/s}}{(15 - 10)\ \text{s}} = 2\ \text{m/s}^2$$

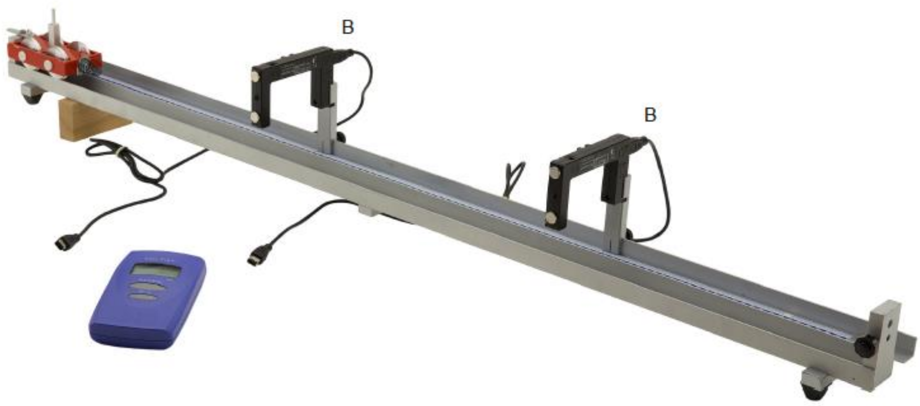
Následující pokus umožňuje stanovení průměrného zrychlení na nakloněné rovině.

Pokus 6

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr,*
2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 dřevěný blok.

Krok 1:

Sestavte pokus podle následujícího obrázku. Umístěte první světelnou závoru na souřadnici x ***x= 0,4 m*** a druhou světelnou závoru na souřadnici x ***x = 0,8 m***.
Zapojte oba kabely do příslušné přípojky B světelné závory.



Krok 2:

Nyní **současně** stiskněte tlačítka ***Start/stop*** a ***Reset*** a zapojte zástrčku kabelu k světelné závoře 1 do zdířky chronometru. Uvolněte aretaci a nechte jízdní vozík jet. Zaznamenejte si čas zatemnění na chronometru. Také zde pokus několikrát opakujte a vytvořte aritmetický průměr zobrazených hodnot. Výsledek je například:

$$v_1 = 0{,}37 \text{ m/s}$$

Krok 3:

Vytáhněte kabel z chronometru a zapojte kabel druhé světelné závory, zatímco **současně** stisknete tlačítka ***Start/stop*** a ***Reset***.

Opakujte poslední pokus stejným způsobem. Výsledek je nyní například:

$$v_2 = 0{,}50 \text{ m/s}$$

Krok 4:

Nyní propojte přípojku B druhé světelné závory s přípojkou A první světelné závory. Následně propojte přípojku B první světelné závory s chronometrem. Můžete tak změřit čas, který jízdní vozík potřebuje k projetí obou světelných závor. Vytvořte také zde průměrnou hodnotu z více pokusů. Výsledek zde může být:

$$\Delta t = 0{,}95 \text{ s}$$

Krok 5:

Je-li změna rychlosti ***Δv = 0,13 m/s***, lze průměrné zrychlení ***a****m* vypočítat pomocí vztahu ***a****m* = ***Δv/Δv***.

$$a_m = \frac{0{,}13 \text{ m/s}}{0{,}95 \text{ s}} = 0{,}14 \text{ m/s}^2$$

11. Okamžité zrychlení

Analogicky k okamžité rychlosti se okamžité zrychlení označuje jako zrychlení v určitém bodu dráhy pohybu nebo k určitému okamžiku pohybu.
Okamžité zrychlení je průměrné zrychlení v nekonečně malém časovém intervalu bezprostředně po okamžiku nebo poloze na dráze pohybu.

Pokus 7

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr, 2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 dřevěný blok.*

Opakujte pokus 6 tak, že obě světelné závory umístíte co nejtěsněji vedle sebe. Čím menší je mezi nimi vzdálenost, tím více se bude hodnota přibližovat k hodnotě zrychlení první světelné závory.

12. Různé druhy pohybu

Stávající veličiny jako rychlost a zrychlení, s nimiž jste se již seznámili, charakterizují každý druh pohybu. Existují různé druhy pohybu, protože existují různé druhy drah pohybu. Proto také existují různé druhy rychlosti a zrychlení v závislosti na dráze pohybu.

Při těchto pokusech používáte v podstatě jízdní vozík na lineární jízdní dráze. Pro měření času použijte chronometr, abyste změřili časový interval. Ve spojení s jízdní dráhou existují dva pojmy (možnosti) pohybu tím, že se mění rychlost nebo zrychlení: **přímočarý rovnoměrný pohyb** a **rovnoměrně zrychlený pohyb**.

13. Přímočarý rovnoměrný pohyb

Pod pojmem přímočarý rovnoměrný pohyb se rozumí pohyb, při němž dráha pohybu tvoří přímku, okamžitá rychlost je konstantní a rovná se průměrné rychlosti přes celou dráhu pohybu.

Předpokládejme, že vozidlo se na silnici pohybuje konstantní rychlostí. Šipka ukazuje v kladném směru pohybu. Ve vztahu k pozorovateli ***O*** je poloha x_0 k počátečnímu okamžiku ($t = 0$). x je poloha vozu k době t. Rychlost se vypočítá takto:

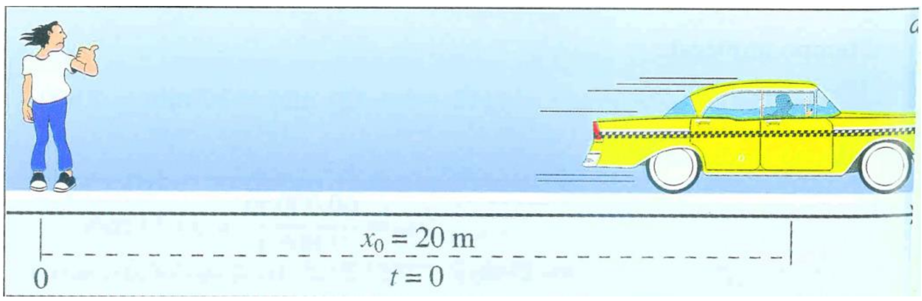
$$v = \frac{x - x_0}{t - 0} \quad \text{z toho vyplývá} \quad v = \frac{x - x_0}{t}$$

Tudíž platí:

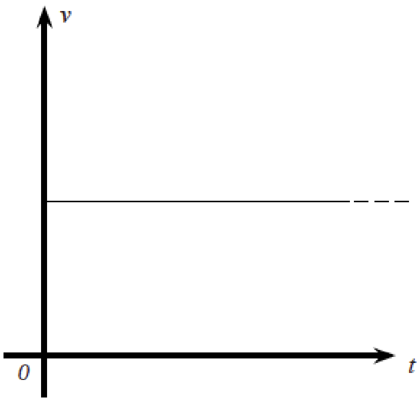
$$x = x_0 + v\,t \qquad (1)$$

Tato rovnice popisuje ***přímočarý rovnoměrný pohyb***.

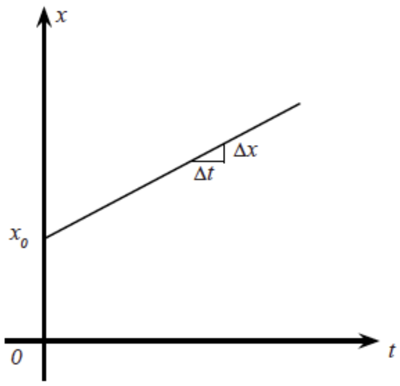
X_0 má kladnou hodnotu, pokud se vozidlo nachází vpravo od pozorovatele ***O***. v má kladnou hodnotu, pokud se vozidlo pohybuje směrem pryč od pozorovatele, zápornou, pokud se pohybuje směrem k pozorovateli (viz níže uvedený obrázek).



Následující graf ukazuje rychlost ve vztahu k času v případě přímočarého rovnoměrného pohybu. Dokud je rychlost konstantní, je graf paralelní k ose x.



Následující graf ukazuje dráhu (poloha x) k času v případě přímočarého rovnoměrného pohybu. Stoupání přímky odpovídá rychlosti.



Získat informace o tom, zda je pohyb přímočarý rovnoměrný, není v praxi jednoduché. V následujícím pokusu ukážeme možnost realizace.

Pokus 8

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík

Zajistěte, aby jízdní dráha stála absolutně rovně. Lehce strčte do jízdního vozíku. Zjistíte, že rychlost klesá se vzrůstající dráhou, kterou vozík urazí. Tento jev se opírá o třecí síly a odpor vzduchu. Třecí síly lze konstrukčně snížit, avšak nelze je eliminovat. Pokud by se nevyskytovaly žádné třecí síly ani žádný odpor vzduchu, pohyboval by se vozík rychlostí, kterou byl postrčen (konstantně).

To znamená, že pohyb by byl přímočarý rovnoměrný.

14. Rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb

Zákonitosti rychlosti

Zvláštností při rovnoměrně zrychleném pohybu je, že okamžité zrychlení je po celou dobu pohybu konstantní.
Přitom je zrychlení, podíl rychlosti k uplynulému času, konstantní. Tedy platí:

$$\frac{v}{t} = a = \text{costant}$$

Pro rychlost ***v*** vyplývá:

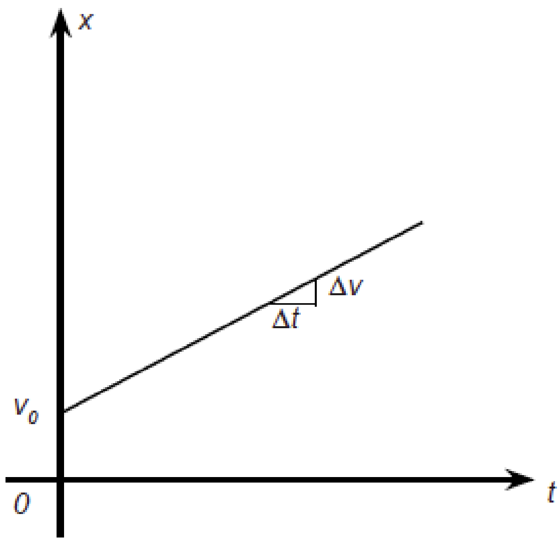
$$v = a\,t \qquad (2)$$

Lze tak určit rychlost k jakémukoli okamžiku ***t*** ze zrychlení.

Pokud těleso zrychluje a na začátku má počáteční rychlost $\boldsymbol{v_0}$, vyplývá k okamžiku ***t*** jeho rychlost ***v*** takto:

$$v = v_0 + at \qquad (3)$$

Grafické znázornění vztahu ukazuje následující obrázek:



Rovnice (2) nám umožňuje stanovit rychlost vozidla k okamžiku ***t*** po startu. Nyní se nabízí otázka, jak lze určit polohu ***x*** po určitém časovém intervalu. Tuto otázku lze zodpovědět pomocí průměrné rychlosti.

Je-li k okamžiku ***t* = *0*** rychlost ***v*** nula ***(v = 0)*** a k pozdějšímu okamžiku platí: ***v = a t***, vyplývá z toho průměrná rychlost v_m:

$$v_m = \frac{0 + a\,t}{2} = \frac{a\,t}{2}$$

Vzdálenost ***x***, kterou vozidlo projelo za určitou dobu ***t*** rychlostí ***v = a t***, odpovídá stejné vzdálenosti, kterou by vozidlo projelo průměrnou rychlostí v_m. Tudíž platí:

$$x = v_m\,t = \frac{a\,t}{2}\,t$$

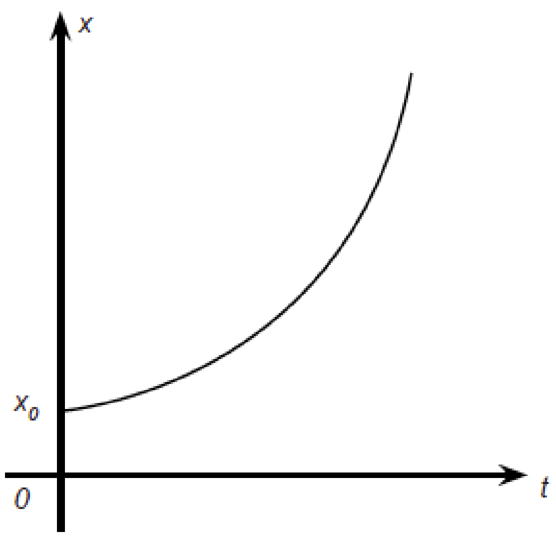
Z toho vyplývá:

$$x = \frac{1}{2}\,a\,t^2 \qquad (4)$$

Pokud pohyb začne, když se těleso nachází na souřadnici x x_0, platí:

$$x = x_0 + \frac{1}{2}\,a\,t^2 \qquad (5)$$

Následující graf ukazuje vztah.



15. Princip setrvačnosti

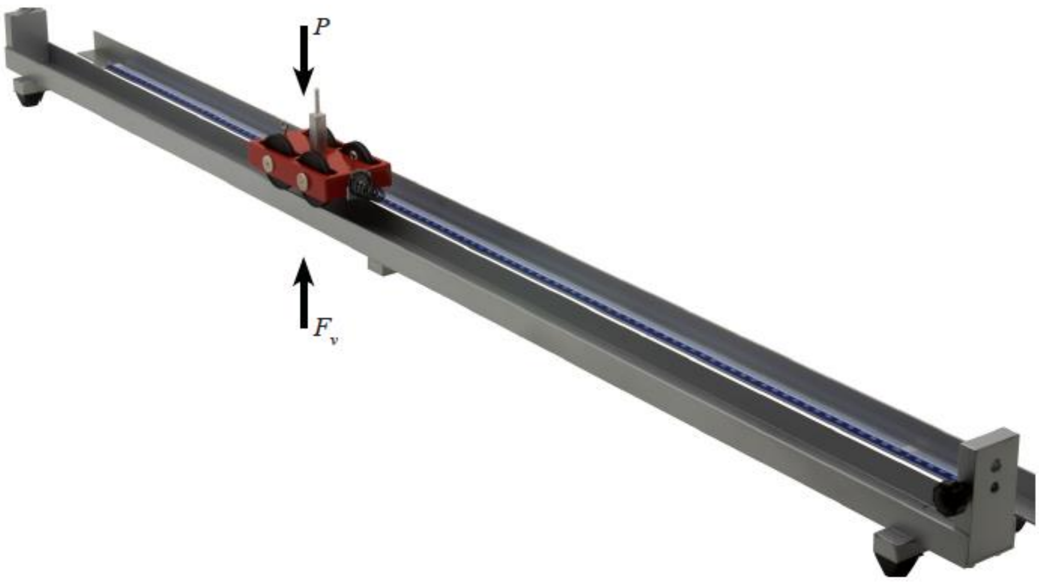
Jaké jsou příčiny, které způsobují pohyb?
Otázku není ani v tomto případě úplně jednoduché zodpovědět, protože podstatnou roli hrají také četné vnější faktory jako tření, odpor vzduchu atd.
Řecký filozof Aristoteles (384–322 př. n. l.) byl první, kdo byl přesvědčen o tom, že pohyb tělesa vždy způsobuje působení nějaké síly. Italský vědec Galileo Galilei (1564–1642 n. l.) prokázal, že síla je potřebná pro změnu rychlosti, avšak žádná síla není nutná pro zachování konstantní rychlosti.
Abychom pochopili tento výrok, prozkoumáme nejprve následující případ:

- Není zavedena žádná síla.

Pokus 9

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík

Umístěte podle následujícího obrázku jízdní vozík doprostřed jízdní dráhy.



Na jízdní vozík působí dvě síly: jeho tíhová síla ***P*** a protikladná síla vykonávaná jízdní dráhou ***Fv***. Obě síly jsou stejné, proto je výsledkem nula. Chování vůči okolí je identické se situací, kdy nepůsobí žádná síla. Protože se jízdní vozík nepohybuje, konstatujeme:

Těleso setrvává v klidu, pokud na něj nepůsobí žádná síla. Jeho rychlost je nulová (v = 0).

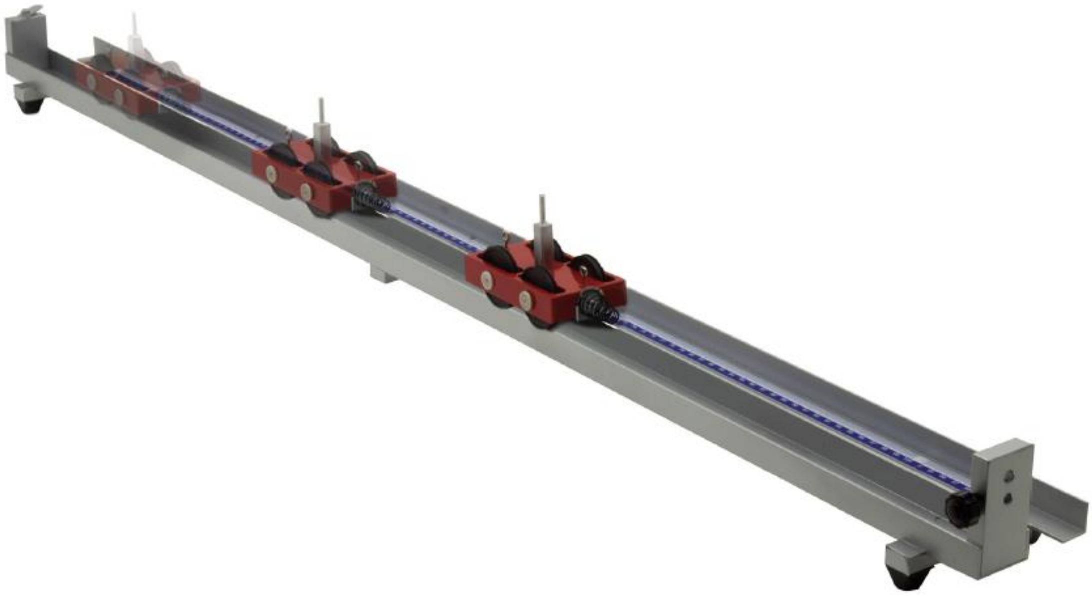
Stav pohybu není jediná možná podmínka, která působí proti síle. Sledujte následující pokus.

Pokus 10

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík

Umístěte podle následujícího obrázku jízdní vozík doprostřed jízdní dráhy.

Postavte jízdní vozík na lavici tak, aby se na levé straně dotýkal dorazu. Poté vozík *lehce* postrčte.



Od okamžiku uvolnění vozíku není na jízdní vozík vykonávána žádná další síla. Vozík však zůstane v pohybu jen po určitou dráhu, stále více zpomaluje, až zůstane nakonec stát. Proč? Důvodem jsou třecí síly, které působí proti směru pohybu. Tyto síly zajišťují brzdění a konečné zastavení pohybu.
Představte si, že by nepůsobily žádné třecí síly. Proč by měl v takové situaci jízdní vozík zastavit?
Pohyboval by se dále ve stejném směru a se stejnou rychlostí.

Pokus 9 a pokus 10 potvrzují, co Galileo Galilei formuloval v roce 1638:

„Těleso setrvá ve stavu klidu nebo v rovnoměrném pohybu, pokud není působením sil nucen ke změně svého stavu.“
(Princip setrvačnosti)

16. Základní zákon dynamiky

Díky předchozím pokusům jste schopni prokázat, že při absenci sil je jízdní vozík v klidu nebo se nachází v rovnoměrném přímočarém pohybu. V obou případech se jeho rychlost díky principu setrvačnosti nemění.

Jiná situace by nastala, pokud na jízdní vozík v každém okamžiku působí konstantní síla stejného směru. Tento jev zkoumal angl. fyzik Isaac Newton (1642–1727 př. n. l).

Objevil, že konstantní síla, která působí na těleso, je zrychluje. Zrychlení je přímo úměrné síle ***F*** a nepřímo úměrné své hmotnosti ***m***.

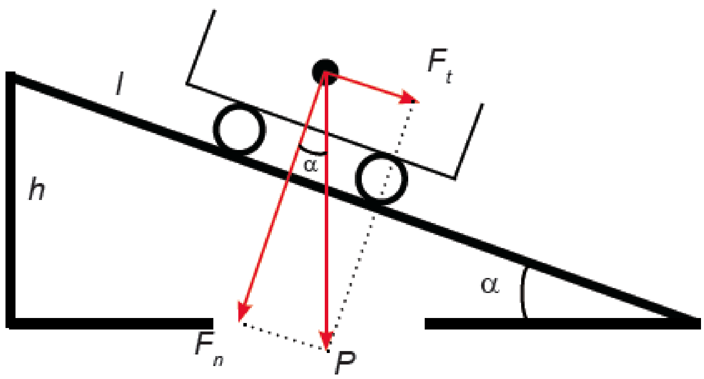
Proto platí:

$$a = \frac{F}{m} \qquad (6)$$

Ve vzorci se měří síla v jednotce Newton (N), hmotnost v kilogramech (kg) a zrychlení v metrech za sekundu na druhou (m/s^2).

Rovnice (6) se také nazývá ***základní zákon dynamiky***.

Pokus jízdního vozíku na nakloněné rovině je příkladem takového pohybu. Jediná aktivní síla F, která na něj působí, je tíhová síla P, která je rozložena na dvě složky, které jsou vzájemně kolmé, jak ukazuje následující obrázek).



Jestliže α je úhel sklonu roviny, platí:

- tangenciální složka $\boldsymbol{F_t = P \sin \alpha}$

- normální složka $F_n = P \cos \alpha$

Ta se vyrovná podpěrnou silou F_v na rovině, zatímco F_t, která není kompenzována, vede k rovnoměrně zrychlenému pohybu po celé nakloněné rovině, pro niž platí:

$$a_t = \frac{F_t}{m}$$

Přitom ***m*** odpovídá hmotnosti jízdního vozíku.

Platí $P = mg$ $\qquad \sin \alpha = \frac{h}{l}$ $\qquad Ft = P \sin \alpha$

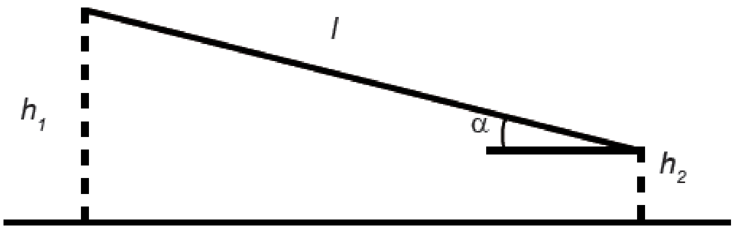
Z toho vyplývá $\qquad a_t = g \frac{h}{l}$ (7)

Rovnici (7) lze prokázat pomocí následujícího pokusu.

Pokus 11

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr,*
2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 dřevěný blok,
1 skládací metr.

Umístěte jízdní dráhu dle následujícího obrázku. Poté změřte výšky h_1 a h_2 pomocí skládacího metru.



Pokud platí $h = h_1 - h_2$, vypočítá se zrychlení

$$a_t = g \frac{h_1 - h_2}{l}$$

Proveďte praktický pokus a změřte (skutečné) zrychlení a_r.

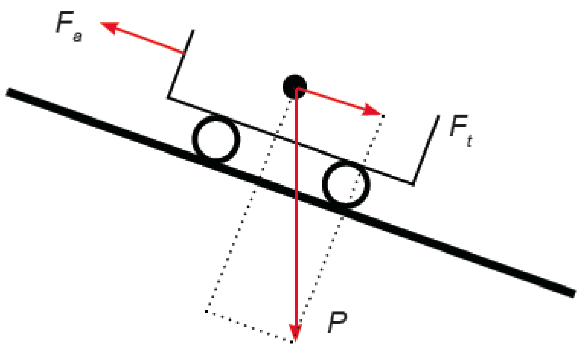
Proč platí: $a_r < a_t$?

17. Třecí síly

Jak bylo zjištěno při posledním pokusu, je skutečné zrychlení $\boldsymbol{a_r}$ menší než teoreticky vypočítaná hodnota zrychlení $\boldsymbol{a_t}$. Tento rozpor je způsobem existencí třecí síly $\boldsymbol{F_a}$.

Protože třecí síla $\boldsymbol{F_a}$ působí proti síle $\boldsymbol{F_t}$, která zajišťuje zrychlení, platí pro výslednou sílu $\boldsymbol{F}$

$$F = F_t - F_a$$



Pomocí následujícího pokusu lze stanovit třecí sílu.

Pokus 12

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr, 2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 dřevěný blok, 1 skládací metr, 1 digitální váha (není součástí dodávky)*

Určete pomocí digitální váhy hmotnost $\boldsymbol{m}$ jízdního vozíku s přesností 1/10 g.

Protože je třecí síla $\boldsymbol{F_a}$ odpovědná za snížení zrychlení $\boldsymbol{a_t}$ - $\boldsymbol{a_r}$, platí následující rovnice:

$$F_a = m(a_t - a_r)$$

Přitom $\boldsymbol{m}$ se měří v kilogramech (kg), ($\boldsymbol{a_t}$ - $\boldsymbol{a_r}$) v metrech za sekundu na druhou (m/s^2) a $\boldsymbol{F_a}$ v newtonech (N). Zkontrolujte vztah pomocí následujícího pokusu.

Pokus 13

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr, 2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 dřevěný blok, 1 skládací metr, 1 digitální váha (není součástí dodávky)*

Použijte přitom dřevěný blok k naklonění jízdní dráhy v malém úhlu (sklon je tak malý, že jízdní vozík se sám od sebe nerozjede).

Zkontrolujte, zda $h = h_1 - h_2$, vyhovuje následující rovnici

$$g \frac{h}{l} = m(a_t - a_r)$$

Přitom platí

$$h = \frac{(a_t - a_r)}{g} l$$

Zde lze ukázat, že hodnota tangenciální složky gravitačního zrychlení ***gh/ l*** se rovná hodnotě záporného zrychlení, podmíněného třecí silou. Proto je součet všech sil působících na jízdní vozík nula. Jízdní vozík se proto nachází na levém konci jízdní dráhy v klidovém stavu. Pokud do něj lehce strčíte, rozjede se rovnoměrným pohybem podle principu setrvačnosti dolů.

18. Experimentální ověření základního zákona dynamiky

Nyní, protože jste se seznámili s vlivem tření na pohyb, můžete experimentálně ověřit základní zákon dynamiky.

Pokus 14

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr, 2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely, 1 provázek pro provádění pokusů, 1 kladka pro provázek na tyči, 1 závaží s háčkem 5 g, 1 závaží s háčkem 8 g, 1 sada závaží (à 10 g), 1 váha (volitelně)*

Nejprve zjistěte hmotnost m_c jízdního vozíku pomocí váhy.
Nyní sestavte jízdní dráhu podle níže uvedeného obrázku. Sílu, která působí na jízdní vozík, zajišťuje hmotnost ***P*** závaží s háčkem (5 g) na konci provázku.

K hmotnosti jízdního vozíku m_c je nutné připočítat hmotnost závaží s háčkem m_p, takže výsledná celková hmotnost soustavy v pohybu je:

$$m = m_c + m_p$$

Jedinou působící silou je tíhová síla závaží s háčkem ***P***, jejíž hmotnost m je $m_p = 0{,}005$ ***kg***. Výsledná tíhová síla je tedy:

$$P = 0{,}005 \cdot 9{,}8N = 0{,}049N$$

Třecí síla F_A, která byla stanovena při pokusu 12, je odečtena od síly, která působí na těleso, takže platí:

$$F = P - F_a$$

Nyní zjistěte zrychlení dle popisu v pokusu 6. Se zohledněním nejistoty měření existující při pokusu je výsledné zrychlení ***a***:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{P - F_a}{m_c + m_p}$$

Opakujte pokus se závažím s háčkem 8 g a zatěžkejte jízdní vozík 2 nebo 3 závažími à 10 g.

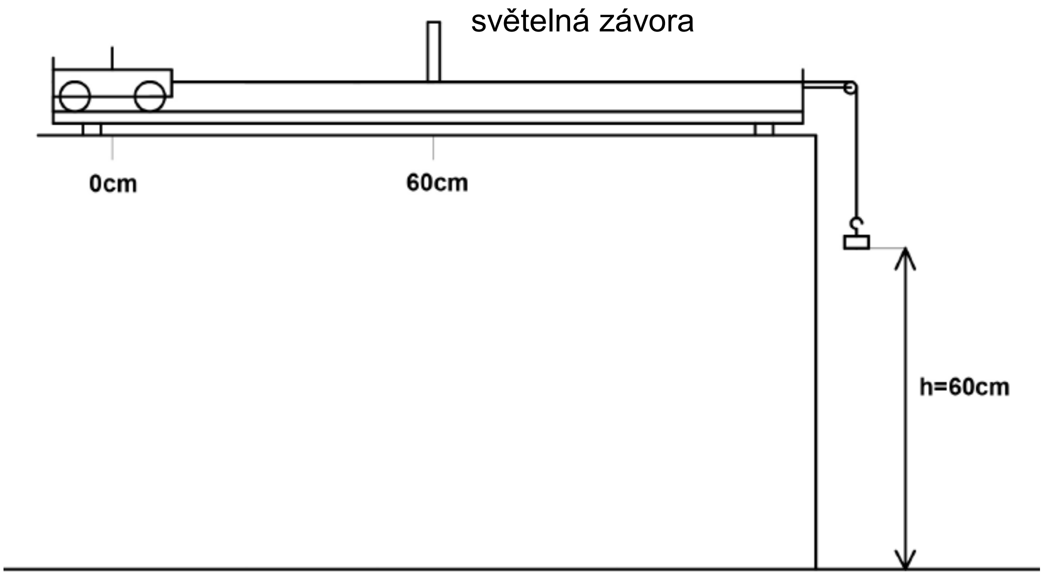
19. Zachování energie

Posuzujme uspořádání pokusu 14 jako uzavřenou soustavu a předpokládejme, že platí zákon o zachování energie. Vycházíme-li z toho, že se v soustavě přeměňují na energii jen interní síly soustavy, znamená to, že energie je na začátku pokusu stejná jako energie na konci pokusu. To lze prozkoumat pomocí následujícího pokusu.

Pokus 15

Potřebný materiál: 1 jízdní dráha, 1 jízdní vozík, *1 chronometr,*
2 vidlicové světelné závory, 2 propojovací kabely,
1 provázek pro provádění pokusů, 1 kladka pro provázek na tyči,
1 závaží s háčkem 5 g, 1 závaží s háčkem 8 g,
1 sada závaží (à 10 g), 1 skládací metr,
1 váha (volitelně)

Konfigurujte jízdní dráhu podle následujícího obrázku. Dbejte na to, aby vzdálenost mezi závažím s háčkem a podlahou byla 60 cm. Umístěte světelnou závoru 61 cm za jízdní vozík. Chronometr je nutné konfigurovat tak, aby zaznamenal rychlost jízdního vozíku bezprostředně poté, co se závaží s háčkem dotkne podlahy.
V prvních 60 cm se jízdní vozík rovnoměrně zrychluje. Poté se pohybuje rovnoměrnou rychlostí ***v***.



Na začátku odpovídá energie ***Eᵢ*** soustavy potenciální energii závaží s háčkem:

$$E_i = m_p g h$$

Poté, co se závaží s háčkem dotkne podlahy, sestává energie soustavy z následujících složek:

- kinetická energie jízdního vozíku $\frac{1}{2} m_c v^2$
- kinetická energie závaží s háčkem $\frac{1}{2} m_p v^2$
- energie v důsledku ztrát způsobených třením $L = F_a \cdot h$

Podle věty o zachování energie platí jako celková energie

$$m_p g h = \frac{1}{2} m_c v^2 + \frac{1}{2} m_p v^2 + F_a \cdot h$$

Menší odchylky vyplývají ze ztrát způsobených třením ve vratné kladce, které zůstávají při posuzování nezohledněné.

20. Volný pád

Jak již bylo zmíněno, působí na každé těleso na Zemi tíhová síla, která určuje hmotnost tělesa. Pokud těleso zdvihneme a poté je necháme spadnout, opíše dráha pohybu přímku ve směru ke středu Země. Při konstantní hmotnosti tělesa platí: ***(volný) pád je rovnoměrně zrychlený pohyb***.

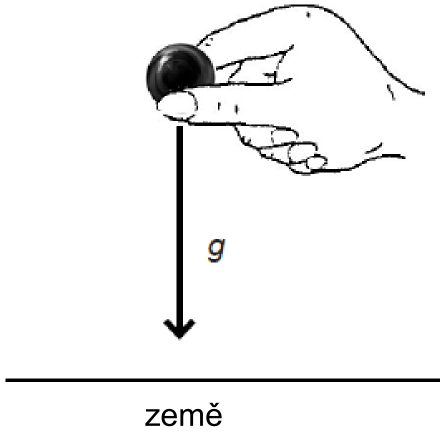
Ve vakuu je zrychlení identické pro veškerá tělesa, nezávisle na jejich hmotnosti a jejich tvaru. Ve vakuované trubce padá kámen a pružina se stejným zrychlením.

Toto zrychlení se nazývá tíhové zrychlení a má hodnotu:

$$g = 9{,}8\, m/s^2$$

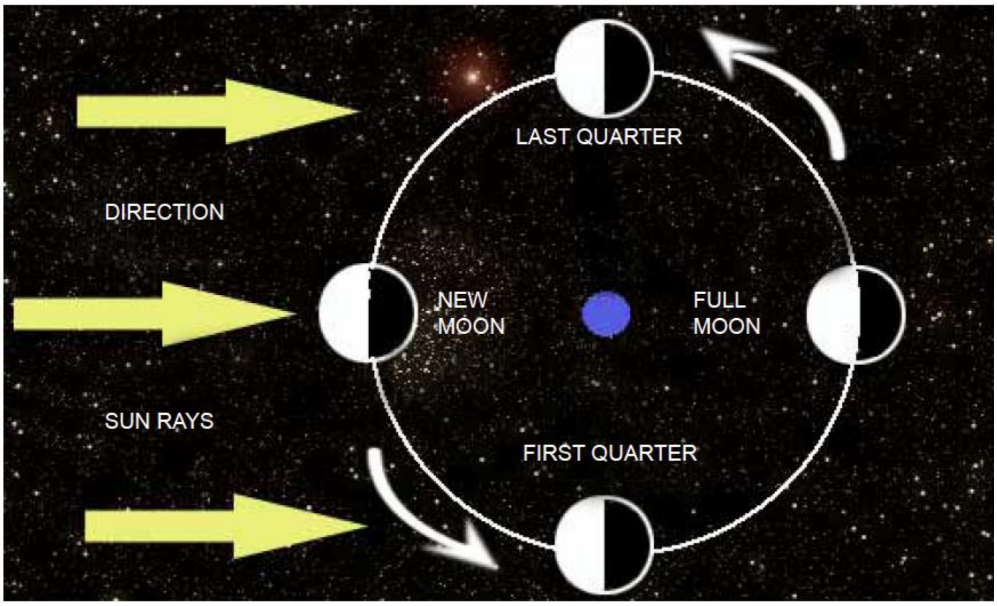
Pokud těleso volně padá z klidového stavu, je výsledkem:

- jeho rychlost $v = g\,t$ (8)
- jeho poloha $y = \frac{1}{2} g\, t^2$ (9)



21. Periodické pohyby

Ve všech dosavadních případech startuje jízdní vozík z určité polohy a zastaví v rozdílných polohách. Existují však případy, v nichž se pohyb opakuje ve stejných a po sobě následujících intervalech. Podívejte se například na pohyb Měsíce okolo Země nebo pohyb Země okolo Slunce.



Při periodických pohybech definuje ***perioda T*** časový interval, který potřebuje těleso pro proběhnutí cyklu pohybu.
Například je perioda oběhu ***T***, kterou Země potřebuje k oběhnutí okolo Slunce ***T = 365 dní***, perioda rotace Země okolo své osy je ***T = 24 hodin***,
perioda pohybu Měsíce okolo Země je ***T = 27,3 dne***.
Definujeme ***frekvenci f*** jako počet dokončených cyklů za sekundu.
Perioda T a ***frekvence f*** jsou definovány prostřednictvím následující rovnice

$$f = \frac{1}{T}$$

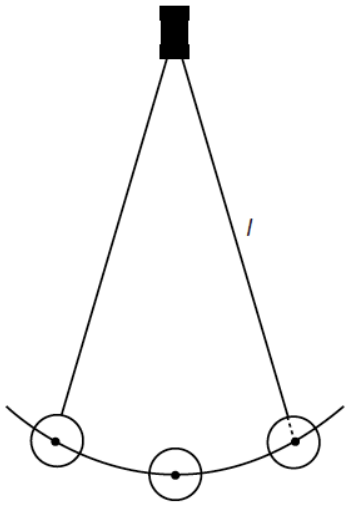
V mezinárodní soustavě jednotek se doba trvání periody měří v sekundách (s), frekvence v hertzech (Hz). Při periodických pohybech se těleso pohybuje frekvencí ***1 Hz***, pokud po úplný cyklus pohybu potřebuje ***1 s***.
Existují periodické pohyby, při nichž se tělesa ve vztahu ke středu pohybu pohybují cyklicky shora dolů. Tyto pohyby nazýváme ***kmitavé pohyby*** nebo jednoduše ***kmitání***.

Následující pokusy definují dva kmitavé pohyby:

- jednoduché kyvadlo (gravitační kyvadlo)
- elastické kyvadlo

22. Jednoduché kyvadlo

U jednoduchého kyvadla se těleso, např. koule, připevní k neelastickému lehkému vláknu. Druhý konec vlákna se upevní na stacionární bod. Hmotnost tělesa je mnohem větší než hmotnost vlákna. Můžeme proto vycházet z toho, že se celková hmotnost soustavy nachází v těžišti koule.
Pokud kouli vychýlíte z jejího rovnovážného stavu a pustíte ji, začne koule kmitat (viz obr. níže).



Při malém vychýlení se ukazuje, že perioda kmitání nezávisí na hmotnosti koule ani na amplitudě kmitání (vychýlení), ale jen na vzdálenosti ***L*** mezi bodem otáčení kmitání a těžištěm koule a tíhovým zrychlením ***g***. Platí následující matematický vztah:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Vlastnosti jednoduchého kyvadla můžete prozkoumat v následujících pokusech.

Pokus 16

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 provázek pro provádění pokusů, 2 kyvné koule, 1 tyč s hákem, 1 tyč stojanu 75 cm, 1 podstavec stojanu, 2 dvojité objímky, 1 skládací metr, 1 úhloměr*

Uvažte na jednom konci provázku pro provádění pokusů smyčku a sestavte s výše uvedeným materiálem kyvadlo s kyvnou koulí z bakelitu dle níže uvedeného obrázku.

Upevněte na konci provázku kyvnou kouli z bakelitu s háčkem tak, aby vzdálenost mezi zavěšením a těžištěm koule byla ***l = 60 cm***. Umístěte světelnou závoru tak, aby koule v klidovém stavu přerušovala světelný paprsek.

Vychylte kouli z rovnováhy o 5°. Zapojte kabel světelné závory do chronometru a uvolněte kyvnou kouli. Na displeji chronometru se zobrazí čas, který koule potřebuje pro dva po sobě následující kyvné pohyby. To je polovina periody kmitání ***T***. Tudíž platí:

$$T = 2\,t$$

Otázka: Jak se vypočítá frekvence kyvadla?

Pokus 17

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 provázek pro provádění pokusů, 2 kyvné koule, 1 tyč s hákem, 1 tyč stojanu 75 cm, 1 podstavec stojanu, 2 dvojité objímky, 1 skládací metr, 1 úhloměr*

Opakujte pokus s úhlem vychýlení 10°. Zvětšete úhel vychýlení o faktor 2.
Otázka: Liší se perioda pohybu při úhlu vychýlení 10° od úhlu 5° z pokusu 16?

Odpověď: Zakřížkujte správnou odpověď:
[] Při malém vychýlení se změní perioda kmitání v závislosti na vychýlení (amplituda).
[] Při malém vychýlení se změní perioda kmitání nezávisle na vychýlení (amplituda).

Pokus 18

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 provázek pro provádění pokusů, 2 kyvné koule, 1 tyč s hákem, 1 tyč stojanu 75 cm, 1 podstavec stojanu, 2 dvojité objímky, 1 skládací metr, 1 úhloměr*

Vyměňte kyvnou kouli z bakelitu za dřevěnou kouli a opakujte pokus 16 (vychýlení o 5°).

Otázka: Liší se perioda pohybu při úhlu vychýlení 10° od úhlu 5° z pokusu 16?

Odpověď: Zakřížkujte správnou odpověď:
[] Perioda kmitání kyvadla nezávisí na hmotnosti kmitajícího tělesa.
[] Perioda kmitání kyvadla závisí na hmotnosti kmitajícího tělesa.

Pokus 19

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 provázek pro provádění pokusů, 2 kyvné koule, 1 tyč s hákem, 1 tyč stojanu 75 cm, 1 podstavec stojanu, 2 dvojité objímky, 1 skládací metr, 1 úhloměr*

Při tomto pokusu použijte chronometr dle popisu v odstavci 7 jako stopky (ruční měření času). Vychylte kouli a spusťte měření času přesně v okamžiku, kdy pustíte kouli. Zastavte čítač poté, co kyvadlo vykonalo 20 úplných kmitů. Vydělte hodnotu na displeji 20. Získáte tak hodnotu maximálně nezávislou na chybách při měření vzniklých vlivem chyb při provádění pokusu. Hodnota odpovídá periodě kyvadla.
Jaké závěry vyvozujete z tohoto pokusu?

Úloha: Doplňte následující větu:

Perioda kmitání jednoduchého kyvadla je nezávislá na ___________ kmitání. Rovněž nezávisí na ____________ kyvné koule. Perioda je závislá jen na __________ kyvadla a ___________ tíhové síle.

Řešení:

Perioda kmitání jednoduchého kyvadla je nezávislá na *počtu* kmitání. Rovněž nezávisí na *hmotnosti* kyvné koule. Perioda je závislá jen na *délce* kyvadla a *působící* tíhové síle.

23. Tíhové zrychlení

Jednoduché kyvadlo umožňuje výpočet nebo měření tíhového zrychlení.

Pokus 20

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 provázek pro provádění pokusů, 2 kyvné koule, 1 tyč s hákem, 1 tyč stojanu 75 cm, 1 podstavec stojanu, 2 dvojité objímky, 1 skládací metr, 1 úhloměr*

Konfigurujte jednoduché kyvadlo dle popisu v pokusu 16. Zapište účinnou délku kyvadla (vzdálenost zavěšení k těžišti kyvné koule). Změřte čas více kyvných period a vytvořte průměrnou hodnotu. Vzorec jednoduchého kyvadla přetvořte tak, aby bylo výsledné g:

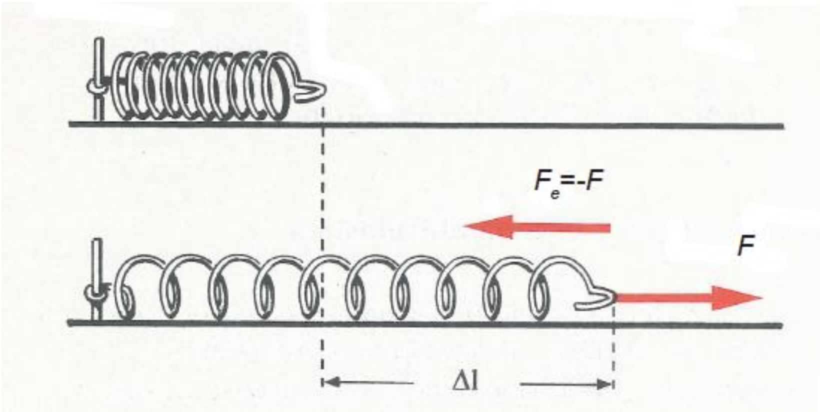
$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

24. Vlastnosti pružin

Některé materiály mají speciální vlastnost: ***vlastnost elasticity***.
O elasticitu se jedná, pokud se těleso působením síly deformuje a poté se vrátí zpět do svého původního stavu, jakmile síla přestane působit. U kapaliny se elasticita vyskytuje jen velmi malá, nebo se nevyskytuje vůbec, u plynů je elasticita jejich charakteristickým znakem. Elastické pevné látky jsou guma, sklo, ocel atd. Jejich elasticita je však velmi různá.

Typickým zástupcem elastického tělesa jsou spirálové pružiny.

Působí-li na spirálovou pružinu externí síla $\boldsymbol{F}$, aby se pružina prodloužila o délku Δl, působí interní síla $\boldsymbol{F_e}$, nazývaná elastická síla. Tato síla způsobuje vratnou deformaci, pokud působení síly skončí (viz níže uvedený obrázek).



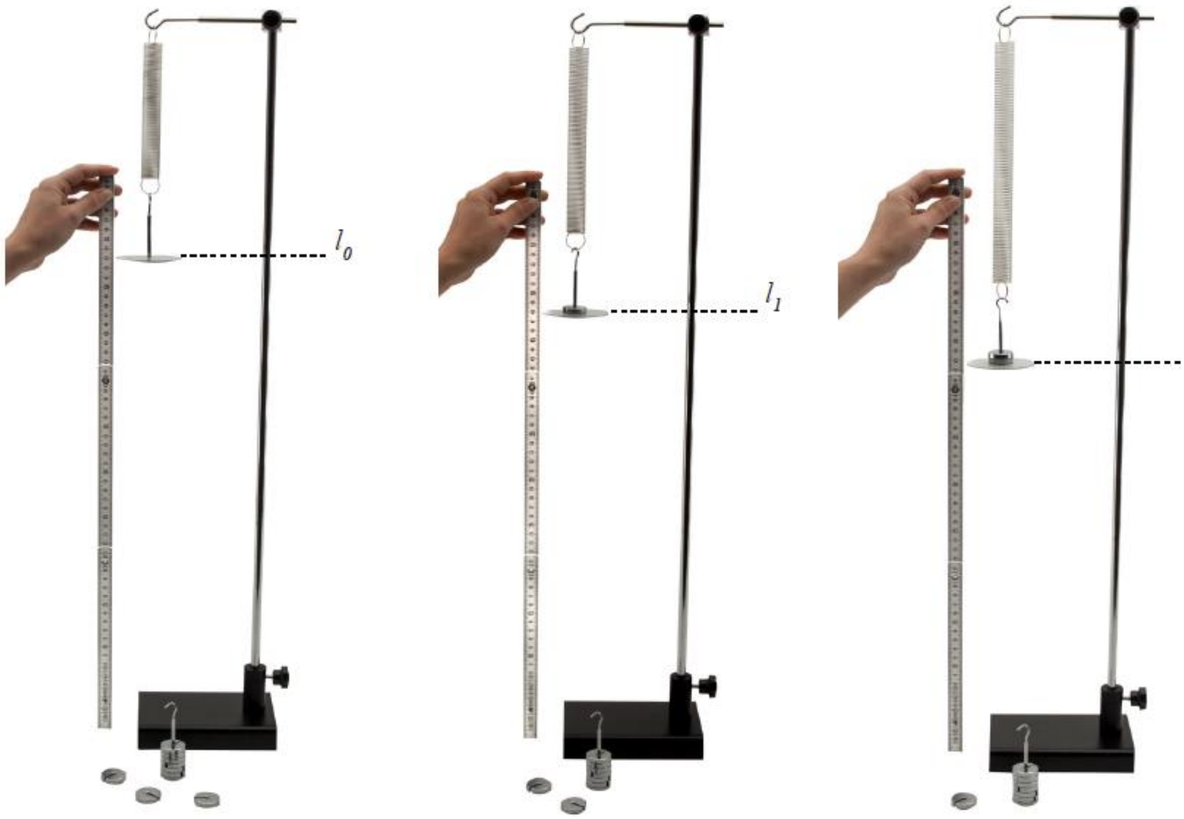
Fyzikální veličina, která charakterizuje vlastnost spirálové pružiny, se nazývá konstanta elasticity (také modul elasticity nebo u pružin konstanta pružiny).

Níže uvedený pokus popisuje kvantitativní zkoumání vlastností pružiny.

Pokus 21

Potřebný materiál: *1 tyč s hákem, 1 pružina, 1 tyč stojanu 75 cm,*
1 držák závaží, 1 sada závaží, 1 podstavec stojanu,
1 dvojitá objímka, 1 skládací metr

Konfigurujte uspořádání pokusu dle níže uvedeného obrázku (vlevo). Změřte vzdálenost $\boldsymbol{l_0}$ mezi (nezatíženým) držákem závaží a plochou stolu. Zapište hodnotu. Zatěžkejte držák závaží dvěma 10g závažími a zapište délku $\boldsymbol{l_1}$ (viz prostřední obrázek). Opakujte měření se 4 a 6 závažími.



Vyplňte přitom níže uvedenou tabulku s přihlédnutím k tomu, že každé závaží působí přídavnou silou 0,1 N.

působící síla (N)	počáteční vzdálenost (m)	konečná vzdálenost (m)	vychýlení (m)
0,2	l_0	l_1	$l_1 - l_0$
0,4	l_0	l_2	$l_2 - l_0$
0,6	l_0	l_3	$l_3 - l_0$
0,8	l_0	l_4	$l_4 - l_0$

Zjistíme, že vztah mezi působící silou a korespondujícím vychýlením Δl je maximálně konstantní. Tudíž platí:

$$\frac{F}{\Delta l} = k$$

Konstanta ***k*** se nazývá ***konstanta elasticity pružiny***. Hodnota je veličinou pro sílu, která je (teoreticky) potřebná pro vychýlení pružiny o 1 m. Zapište hodnotu, protože je potřebná pro další pokus.

25. Elastické kyvadlo

Konstantu elasticity spirálové pružiny lze použít k provedení následujícího pokusu k elastickému kyvadlu.

Pokus 22

Potřebný materiál: *1 chronometr, 1 vidlicová světelná závora, 1 propojovací kabel, 1 tyč s hákem, 1 pružina, 1 tyč stojanu 75 cm, 1 držák závaží, 1 sada závaží, 1 podstavec stojanu, 2 dvojité objímky*

Konfigurujte uspořádání podle níže uvedeného obrázku (vlevo). Umístěte vidlicovou světelnou závoru tak, aby položená závaží v klidové poloze pružinového kyvadla přerušovala světelný paprsek světelné závory. Napněte pružinu tak, že stáhnete držák závaží o 3 nebo 4 cm dolů.

Jakmile soustavu uvolníte, začne soustava závaží a pružiny vertikálně kmitat.

Níže uvedená rovnice matematicky popisuje dobu trvání periody ***T*** kmitání.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Přitom je ***m*** hmotnost držáku závaží se závažími v kilogramech (kg) a ***k*** konstanta elasticity pružiny v newtonech/metr (N/m).
Ve vztahu k výše uvedenému obrázku odpovídá hodnota zobrazená na displeji chronometru době dvou po sobě následujících kmitů.
Analogicky k jednoduchému kyvadlu je výsledkem pro dobu trvání periody ***T*** následující souvislost:

$$T = 2\,t$$