

Úloha č. 1: Mechanika

jarní semestr 2020

Obsah

1	Kinematika pohybu	3
1.1	Kinematika pohybu na (nakloněné) rovině	3
	E 1 Rychlost a zrychlení na vozíčkové dráze – demonstrace	3
	E 2 Rychlost a zrychlení na vozíčkové dráze – měření pomocí chytrého vozíku	3
1.2	Kinematika vrhů v tíhovém poli	4
	E 3 Volný pád a vrhy na velké desce – demonstrace	4
	E 4 Šikmý vrh pomocí odpalovacího systému – klasické měření	5
	E 5 Šikmý vrh pomocí odpalovacího systému – videoanalýza	5
	E 6 Svislý a šikmý vrh na vozíčkové dráze – demonstrace skládání pohybů	7
2	Základy dynamiky pohybu	7
2.1	Vliv síly na pohybový stav tělesa, impulz síly	7
	E 7 Kulička a magnet	7
	E 8 Impuls síly potřebný k zastavení vozíku <i>Smart Cart</i>	8
2.2	Newtonovy zákony	8
	E 9 Newtonův zákon setrvačnosti – kádinka a mince	8
	E 10 Newtonův zákon setrvačnosti – trhání provázků	9
	E 11 Druhý Newtonův zákon na nakloněné rovině – magnetická tabule	10
	E 12 Druhý Newtonův zákon na nakloněné rovině – měření na vozíčkové dráze	10
	E 13 Třetí Newtonův zákon – zákon vzájemného silového působení	11
2.3	Neinerciální vztažné soustavy	11
	E 14 Volně padající láhev	11
	E 15 *Dostředivá síla a zrychlení – měření pomocí vozíku Pasco <i>Smart Cart</i>	12
	E 16 Rotující tělesa na točně	12
3	Vybrané síly	13
3.1	Tíhová síla, těžiště	13
	E 17 Těžiště tělesa na magnetické tabuli	13
	E 18 *Těžiště tyče na magnetické tabuli mimo tělo tyče	13
	E 19 Kvádry na nakloněné rovině	14
	E 20 Charakteristiky stability	14
3.2	Síla pružnosti a Hookův zákon	14
	E 21 Demonstrace Hookova zákona na magnetické tabuli	14
	E 22 Měření tuhosti pružiny, vykonané práce a potenciální energie	15
3.3	Třecí síla	15
	E 23 *Existence třecí síly na magnetické tabuli – demonstrace	15
	E 24 Statické a dynamické tření na vozíčkové dráze	16
	E 25 *Určení koeficientů tření pomocí nakloněné roviny na magnetické tabuli	17

E 26	Statické a dynamické tření s chytrým vozíkem – kvantitativní měření z klidu do pohybu	17
E 27	Kužel tření sypkých hmot	18
4	Statika	18
4.1	Skládání sil	18
E 28	*Skládání sil působících v jednom bodě a sil rovnoběžných na magnetické tabuli	18
4.2	Moment síly	19
E 29	*Moment síly na páce na magnetické tabuli	19
E 30	*Momentový kotouč na magnetické tabuli	20
4.3	Rovnováha na páce	20
E 31	*Momentová rovnováha sil na magnetické tabuli	20
E 32	*Jednozvrtná a dvojezvrtná páka na magnetické tabuli	20
4.4	Jednoduché stroje	21
E 33	*Kladka volná a pevná, jednoduché kladkostroje na magnetické tabuli	21
E 34	Jednoduché stroje v běžném životě	21
5	Rotace těles	22
E 35	Okamžitá osa rotace při valení – cívka s nití	22
E 36	Dutý a plný válec na nakloněné rovině – demonstrace a videoanalýza	22
E 37	Určení momentu setrvačnosti	23
6	Zákony zachování	23
6.1	Zákon zachování hybnosti	23
E 38	Zákon zachování hybnosti na vozíčkové dráze – demonstrace i měření	23
E 39	Archimedovo dělo – pád kuliček v rouře	24
E 40	*Balistické kyvadlo (kladivo) – první přiblížení	25
6.2	Zákon zachování momentu hybnosti	25
E 41	*Balistické kyvadlo (kladivo) – detailní rozbor	25
E 42	Rotace na točně, Wattův odstředivý regulátor otáček	26
6.3	Mechanická práce	26
E 43	Mechanická práce vykonaná při napínání gumičky	26
E 44	Určení mechanické práce různých sil	27
6.4	Zákon zachování energie	27
E 45	Zákon zachování energie na nakloněné rovině – kvantitativní měření	27
E 46	Pohyb po brachystochroně – videoanalýza	28

RVP G Fyzika – Pohyb těles a jejich vzájemné působení

- kinematika pohybu
 - vztažná soustava;
 - poloha a změna polohy tělesa, jeho rychlost a zrychlení
- dynamika pohybu
 - hmotnost a síla;
 - první, druhý a třetí pohybový zákon, inerciální soustava;
 - hybnost tělesa;
 - tlaková síla, tlak;
 - třecí síla;
 - síla pružnosti;
 - gravitační a tíhová síla; gravitační pole;
 - moment síly;
 - práce, výkon; souvislost změny mechanické energie s prací;
 - zákony zachování hmotnosti, hybnosti a energie
- mechanické kmitání a vlnění
 - kmitání mechanického oscilátoru, jeho perioda a frekvence;
 - postupné vlnění, stojaté vlnění, vlnová délka a rychlost vlnění;
 - zvuk, jeho hlasitost a intenzita

1 Kinematika pohybu

1.1 Kinematika pohybu na (nakloněné) rovině

E 1 – Rychlost a zrychlení na vozíčkové dráze – demonstrace

Změnu rychlosti tělesa lze dobře znázornit pohyb pomocí laserového blikače.

Potřeby

- vozíčková dráha Pasco s fluorescenční fólií umístěná vodorovně
- vozíčky firmy Pasco s blikači
- případně siloměr či kladka a závaží



Provedení

Na vozíčkovou dráhu umístíme vozíček s laserovým blikačem. Na luminescenční fólii pozorujeme svítící stopy odpovídající okamžité rychlosti vozíku. Měníme sklon dráhy a počáteční rychlost vozíku a pozorujeme, jak se nám rychlost zachovává, roste nebo klesá.

Pojmy

rovnoměrný, zrychlený a zpomalený pohyb

E 2 – Rychlost a zrychlení na vozíčkové dráze – měření pomocí chytrého vozíku

Opakování předchozího experimentu. Možnost určit kvantitativně charakteristiky rovnoměrného a nerovnoměrného pohybu pomocí bezdrátových čidel Pasco.

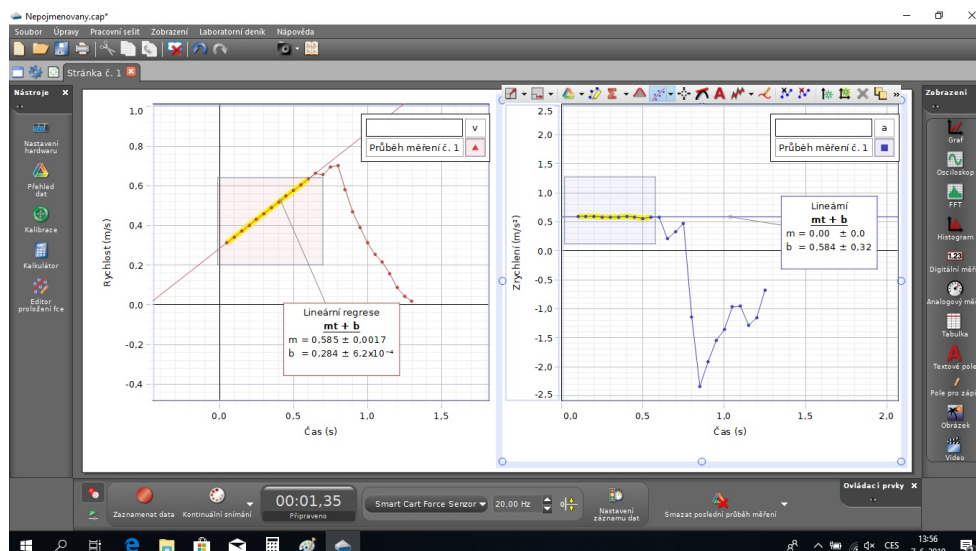
Potřeby

- vozíčková dráha Pasco umístěná vodorovně
- vozíček *Smart Cart* firmy Pasco s možností určení polohy
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)



Příprava

Zapněte počítač či tablet, otevřete program Capstone či SparkVue. Zapněte vozík – měl by se rozsvítit indikátor baterie a začít blikat indikátor Bluetooth. V nastavení hardware vozík Smart Car bezdrátově připojte. Zvolte formu výstupu (tabulka, tabulka a graf, display...)



Provedení

Změřte vhodné veličiny pro detekci rovnoměrnosti či nerovnoměrnosti pohybu vozíku na vozíkové dráze či mimo ni. Komentujte očekávaný průběh s ohledem na sklon dráhy.

Fyzikální interpretace

Uvědomte si, co měří které čidlo, která data jsou naměřená a která vypočtená z naměřených (toto si rozmyslete především pro čidla určující zrychlení). Jedině pak dokážete správně interpretovat naměřené hodnoty.

1.2 Kinematika vrhů v tíhovém poli

E3 – Volný pád a vrhy na velké desce – demonstrace

Na šikmo položené tabuli můžeme studovat pohyby v gravitačním poli se zrychlením, které je menší než tíhové.

Potřeby

- Zelená tabule na psaní křídou,
- kvádry na její podložení,
- různé míčky či kuličky,
- křída nebo voda.

Příprava

Tabuli umístěte na vodorovnou plochu a podložte pomocí kvádrů její horní okraj tak, aby byl výše než okraj spodní.

Provedení

Míčky nakřídujte anebo namočte do vody. Uveďte je do pohybu po nakloněné tabuli tak, abyste demonstrovali volný pád anebo některý typ vrhu. Proměřte a analyzujte tvar trajektorie, která zůstává na tabuli zachycená.

Fyzikální interpretace

Jak velká je hodnota zrychlení, se kterým se pohybují míčky po tabuli, vůči tíhovému? Které všechny veličiny lze ze zachycené a proměřené trajektorie určit?

Pojmy

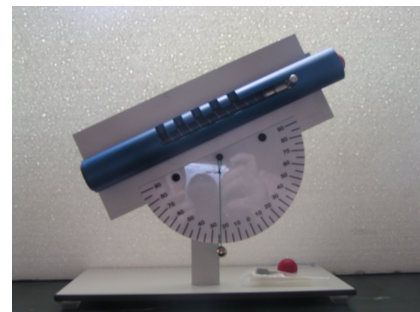
volný pád, vrh vodorovný, vrh svislý vzhůru, vrh svislý dolů, vrh šikmý vzhůru, vrh šikmý dolů, doba letu, délka vrhu, výška výstupu, trajektorie, rychlost, zrychlení

E 4 – Šikmý vrh pomocí odpalovacího systému – klasické měření

Měření délky vrhu pro různé počáteční rychlosti a úhly vrhu.

Potřeby

- Odpalovací systém Pasco, kulička
- bezdrátová zápora Pasco, tablet se Sparkvue
- fotomiska s pískem,
- svinovací metr.



Provedení

Bezdrátovou závoru připevněte před ústí hlavně a program SPARKvue nastavte tak, ab měřil přímo rychlost kuličky (budete potřebovat její průměr). Fotomisku položte do předpokládaného místa dopadu kuličky. Kuličku vložte do odpalovacího systému a vystřelte. Pomocí svinovacího metru změřte délku vrhu pro dané nastavení úhlu a odpalovací rychlosti.

Fyzikální interpretace

Jak závisí délka vrhu na odpalovací rychlosti a úhlu? Které všechny veličiny lze ze změřené délky vrhu a známého úhlu určit? Porovnejte ústovou rychlost vypočtenou z délky vrhu s hodnotou měřenou optickou závorou.

E 5 – Šikmý vrh pomocí odpalovacího systému – videoanalýza

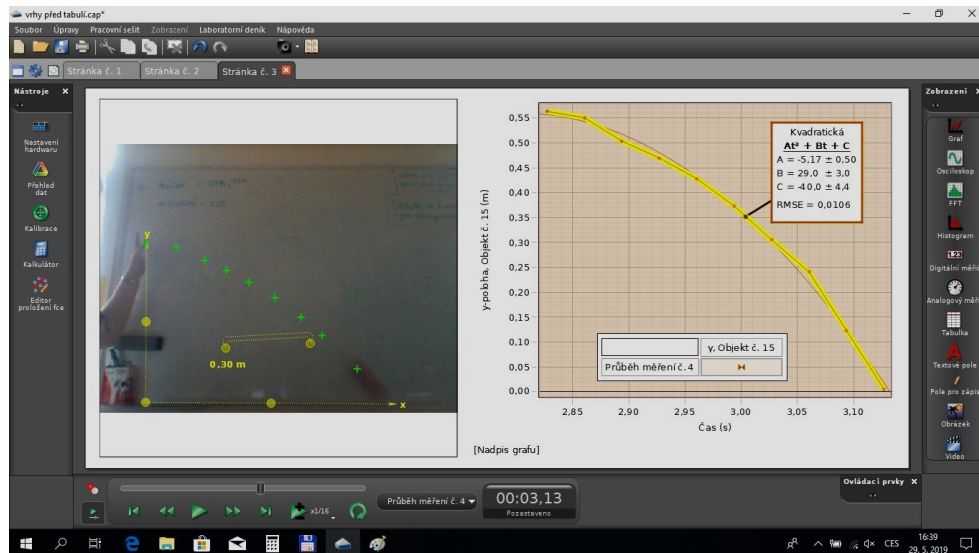
Videoanalýza 2D pohybu poskytuje kompletní sadu kinematických veličin.

Potřeby

- Odpalovací systém Pasco nebo ruka
- kulička pro odpálení nebo míček
- vysokorychlostní kamera MotionBlitz či jiná
- reflektor 1000 W
- počítač se software Pasco Capstone

Příprava

Přípravte si scénu pro sejmutí videa. Na magnetické tabuli si nakreslete vodorovnou a svislou osu, vyznačte úsečku 1 m a do počátku umístěte odpalovací systém Pasco. V softwaru kamery nastavte vhodné parametry záznamu (kupř. 100 fps, 200 μ s) a zkontrolujte, zda kamera zabírá správně budoucí scénu pohybu. Scénu osvětlete reflektorem (provoz 10 min max).



Provedení

Natočte video zkoumaného pohybu. Video exportujte ve formátu xvid. V software Capstone nejprve nastavte skutečnou snímkovou frekvenci, označte přesně měřítkovou úsečku, vyrovnejte osy s nakreslenými osami na tabuli. Pokud to video umožňuje, použijte funkci automatického sledování polohy kuličky, případně přesně označte co nejvíce bodů trajektorie kuličky. Vytvořte graf zobrazující trajektorii a grafy závislostí jednotlivých kinematických veličin na čase či jiných veličinách. Měřenými daty proložte metodou nejmenších čtverců očekávané analytické závislosti.

Technické problémy

Při experimentech je potřeba vyloučit pohyb ve směru od/ke kameře a možné zkreslení obrazu. Funkce automatického sledování vyžaduje dobrý kontrast sledovaného tělesa a (pokud možno jednodušší) pozadí. Pro záznam vrhu sice dostačuje poměrně nízká snímková frekvence 100 Hz, ostrý obraz kuličky však dostaneme nastavením krátké expoziční doby vyžadující přisvětlení. Masivní 1000 W halogenová žárovka poskytuje dostatečný světelný výkon, ale i malé zvlnění časového vývoje intenzity.

Fyzikální interpretace

Okomentujte získané křivky příslušných fyzikálních veličin (viz pojmy) z hlediska očekávaného fyzikálního modelu, interpretujte hodnoty parametrů nafitovaných závislostí. Které veličiny (dráha, rychlost, zrychlení) jsou určeny přesněji a které méně přesně? Je ve výsledcích vidět vliv odporu vzduchu na pohyb kuličky? Jak jej potlačit anebo zvýraznit?

Pojmy

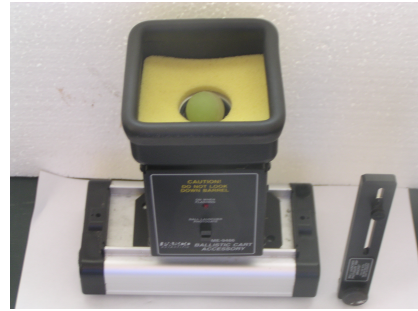
polohový vektor, trajektorie, parametrické rovnice trajektorie, vektor rychlosti a jeho složky, velikost rychlosti, vektor zrychlení a jeho složky, tečné a normálové zrychlení

E 6 – Svislý a šikmý vrh na vozíčkové dráze – demonstrace skládání pohybů

Demonstrace skládání pohybů na vozíčkové dráze

Potřeby

- vozíčková dráha Pasco, stojany na podložení
- vozíček
- odpalovací zařízení k vozíčkové dráze – vystřelení a zachycení míčku



Příprava

Na vozíček umístěte odpalovací zařízení. Na vozíčkovou dráhu připevněte zatemňovač optické závory a zkontrolujte, zda při pohybu vozíčku projde uprostřed optické závory. Do odpalovacího zařízení vložte kuličku.

Provedení

Demonstrujte, jak se chová kulička vystřelená svisle vzhůru při pohybujícím se a nehybném vozíčku.

Fyzikální interpretace

Jak popíšeme pohyb kuličky v soustavě spojené s vozíčkovou dráhou a v soustavě spojené s vozíkem? Jaké podmínky musí být splněny, aby kulička dopadla zpět do odpalovacího zařízení na jedoucím vozíčku? Jak vysvětlíte odlišnou dráhu kuličky z pohledu obou soustav, pokud vozík brzdí?

Pojmy

inerciální a neinerciální vztažná soustava, setrvačné síly, Galileova transformace

2 Základy dynamiky pohybu

2.1 Vliv síly na pohybový stav tělesa, impulz síly

E 7 – Kulička a magnet

Síla může změnit pohybový stav tělesa.

Potřeby

- skleněná deska, kvádřík na podložení
- magnet
- ocelová kulička, případně dřevěná či plastová kulička

Provedení

Skleněnou desku podložte na jedné straně kvádříkem a pod ni vložte magnet. Ocelovou kuličku spouštějte po nakloněné rovině okolo magnetu a mimo něj. Vysvětlete pozorování.

Pojmy

síla, vektor rychlosti, dostředivé zrychlení

E 8 – Impuls síly potřebný k zastavení vozíku Smart Cart

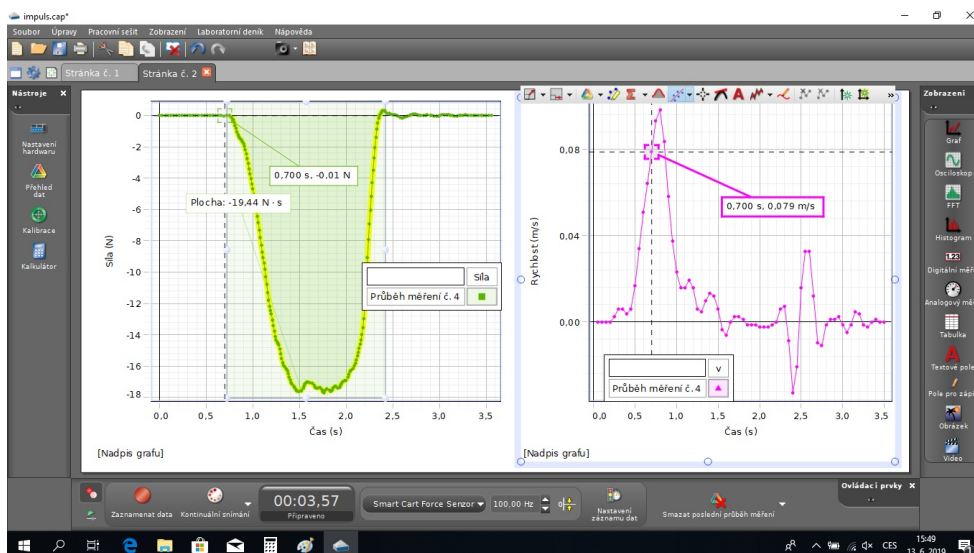
Můžeme naměřit impuls síly a změnu hybnosti tělesa při srážce s překážkou.

Potřeby

- vozíček firmy Pasco s možností určení polohy opatřený gumovým nárazníkem
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)
- překážka (zeď, kniha,...)

Provedení

Vozíček rozpohybuje a poté tlačte nárazníkem do překážky, dokud se od ní neodrazí. Experiment zkuste několikrát při různých nastaveních, vyhodnoťte grafy.



Fyzikální interpretace

Vysvětlete na tomto experimentu správně význam měřených fyzikálních veličin.

Pojmy

síla, impuls síly, změna hybnosti, hybnost

2.2 Newtonovy zákony

E 9 – Newtonův zákon setrvačnosti – kádinka a mince

Typická demonstrace zákona setrvačnosti.

Potřeby

- kádinka
- mince
- kartička tvrdého papíru

Provedení

Minci položte na papír, papír na hrdlo kádinky. Rychlým pohybem vytáhněte papír tak, aby mince spadla do kádinky. Experiment vysvětlete.

Pojmy

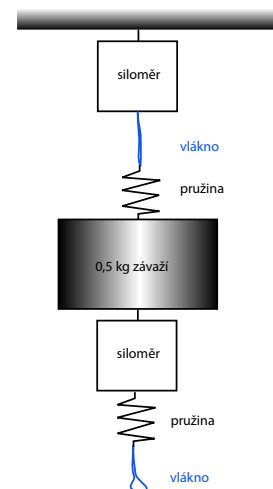
setrvačnost, první Newtonův zákon, druhý Newtonův zákon

E 10 – Newtonův zákon setrvačnosti – trhání provázků

Typická demonstrace zákona setrvačnosti. Statické a dynamické silové působení, elastická pružnost.

Potřeby

- laboratorní stojan velký s křížovou spojkou a vodorovnou tyčí
- pojistný závěs
- krejčovská nit – tenká, nůžky, dvojice pružin
- závaží pro trhání „provázku“ (500 g) – musí mít závěsný háček zdola i shora
- akcelerometr/siloměr Pasco 2 ks – každý musí mít háček pro měření síly
- USB adapter pro bezdrátové připojení, adaptér pro drátové připojení, počítač s programem Capstone nebo tablet s programem SparkVue



Příprava

Na pořadí dvojice vlákno - pružina nezáleží. Na stůl postavte laboratorní stojan a zatěžte závažím tak, aby kompenzovalo sílu při trhání provázku. Zavěste vlákno pojistného závěsu. Ze špulky niti oddělte několik kusů niti a každý kus svažte do smyčky. Jednu smyčku užíjte jako základní (horní) závěs a jednu jako dolní vlákno. Další rezervní smyčky volně zavěste na tyč stojanu.

Do jednoho USB zapojte jeden drátový přípoj a do jednoho USB zapojte adaptér pro Bluetooth. Zapněte siloměry. V programu Capstone (SparkVue) aktivujte připojení dvou siloměrů, další dostupné funkce vypněte. Horní siloměr je připojen jako bezdrátový a frekvence nastavena na 250 Hz; dolní siloměr zapojen jako drátový a frekvence nastavena na 1 000 Hz.

Provedení

Dva způsoby trhání provázku:

Pozvolný tah. Zvyšujete-li tah dolního vlákna zvolna, přetrhne se horní vlákno a dolní vlákno zůstane neporušeno. Závaží zůstane viset na pojistném závěsu.

Prudké trhnutí. Pokud zatáhnete za dolní vlákno prudce, dolní vlákno se přetrhne a základní závěs zůstane neporušen.

Fyzikální interpretace

Vysvětlete jev nejen kvalitativně, ale pokuste se i o kvantitativní měření a výpočet.

Napišeme-li pohybovou rovnici pro zavěšené závaží a vyjádříme-li z ní horní sílu, v případě pomalého až statického vývoje uvidíme, že horní síla je větší o tíhovou sílu závaží. V případě velmi rychlého vývoje může být horní síla díky „odstínění“ pohybující se hmotou závaží podstatně menší.

Naměřený časový vývoj sil a řešení pohybové rovnice nalezne čtenář v [1].

E 11 – Druhý Newtonův zákon na nakloněné rovině – magnetická tabule

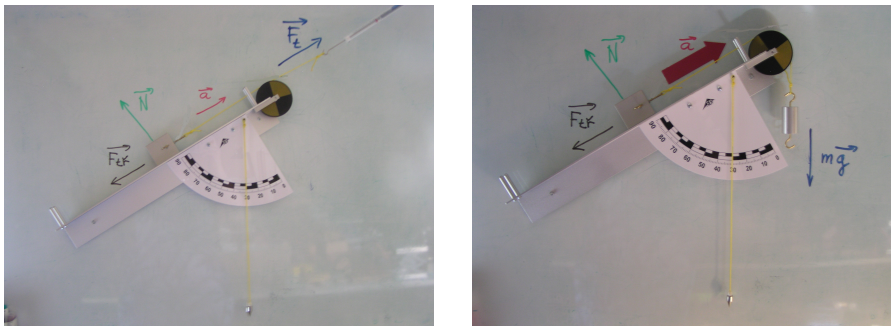
Dobře viditelná kvalitativní demonstrace zrychleného pohybu pod vlivem působící síly. Možnost naznačit odpovídající silové působení.

Potřeby

- rovina na magnetickou tabuli umístěná jako nakloněná
- vozík či kvádrík
- závaží, případně siloměr

Provedení

Demonstrujte rovnoměrný či zrychlený a zpomalený pohyb po nakloněné rovině. Využijte tabuli k vyznačení působících sil.



Fyzikální interpretace

Jak v tomto případě prokázat, že jde o pohyb rovnoměrný či rovnoměrně zrychlený nebo zpomalený?

Pojmy

nakloněná rovina, tření, síla, dráha, rychlost, zrychlení.

E 12 – Druhý Newtonův zákon na nakloněné rovině – měření na vozíčkové dráze

Měření síly a zrychlení chytrým vozíkem nám umožní vyvrátit miskoncepce při aplikaci druhého Newtonova zákona. Bude se vozík pohybovat s tíhovým zrychlením?

Potřeby

- vozíčková dráha Pasco
- vozíček *Smart Cart* firmy Pasco s možností určení polohy
- kladka a závaží
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)

Provedení

Vozík umístíme na nakloněnou rovinu a přes vlastní siloměr (ouško) a kladku připojíme lankem k zavěšenému závaží. Závaží pustíme a změříme závislost síly a zrychlení na čase.

Fyzikální interpretace

Napište pohybové rovnice pro obě tělesa a stanovte zrychlení vozíku. Porovnejte výsledky výpočtu s měřením tahové síly a zrychlení. Uvědomte si, co měří které čidlo, která data jsou naměřená a která vypočtená z naměřených (toto si rozmyslete především pro čidla určující zrychlení). Jedině pak dokážete správně interpretovat naměřené hodnoty.

E 13 – Třetí Newtonův zákon – zákon vzájemného silového působení

Typická demonstrace třetího Newtonova zákona

Potřeby

- dva skateboardy anebo dvě jezdící židle
- provázek či lanko
- dva siloměry (mincíře)
- případně vozíčky *Smart Cart* firmy Pasco a software Pasco Capstone (SparkVue)
- případně těžké závaží a nůžky

Provedení

Dva demonstrující se posadí na jezdící židle – postaví na skateboardy. Provázek zahákněte do siloměrů. Vyzkoušejte všechny možnosti vzájemného silového působení ve dvojici, výsledky okomentujte.

Modifikace pokusu

1. Předchozí experiment realizujte s vozíky Pasco *Smart Cart*. Kvantitativní výsledky vyhodnoťte a okomentujte.
2. Demonstrující se postaví s rukou nataženou daleko před sebe. V ruce drží závaží přivázané na provázku. Druhý demonstrátor nit přestřihne. Okomentujte pozorování.

2.3 Neinerciální vztažné soustavy

E 14 – Volně padající láhev

Těleso ve stavu beztlíže

Potřeby

- PET láhev, voda, ostrý předmět
- vyvýšené stanoviště
- fotomiska na podlahu a hadry na otírání

Příprava

Vystupte na vyvýšené stanoviště s lahví, stanovte místo dopadu, dejte na něj fotomisku. Do lahve prorazte malý otvor blízko dna.

Provedení

Pozorujte vodu, která vytéká z láhve. Upustíte láhev. Vytéká z ní voda i během pohybu?

Fyzikální interpretace

Proč voda při pádu láhve nevytéká? Závísí toto na umístění otvoru?

Pojmy

inerciální a neinerciální vztažná soustava, síla setrvačná

E 15 – *Dostředivá síla a zrychlení – měření pomocí vozíku Pasco Smart Cart

Kvantitativní určení velikosti dostředivé síly a dostředivého zrychlení. Možnost měření úhlové rychlosti otáčení.

Potřeby

- točna či otočná židle
- hliníkové korýtko
- zarážky
- jeden až dva vozíčky s detekcí polohy Pasco
- počítač s programem Capstone anebo tablet s programem SparkVue



Příprava

Korýtko položte na točnu anebo na otočnou židli. Na oba konce upevněte zarážku, o ně opřete vozíčky (vozik). Cvičně židli roztočte.

Provedení

Roztočte židli. Měřte závislost síly na úhlové rychlosti ve směru osy y a úhlového zrychlení ve směru osy x na úhlové rychlosti ve směru osy y . Do grafů proložte kvadratické funkce, přičemž v editoru prokladu položte koeficient před lineárním členem nulový. Měření opakujte pro různé vzdálenosti vozíčků od osy otáčení.

Fyzikální interpretace

Co měříme a co z naměřených hodnot lze spočítat?

Pojmy

inerciální a neinerciální vztažná soustava, síla setrvačná, odstředivá, dostředivá

E 16 – Rotující tělesa na točně

Demonstrace existence chování různých těles v inerciálních a neinerciálních vztažných soustavách.

Potřeby

- točna
- sada těles k rotaci na točně

Provedení

Pozorujte chování těles při rotaci na točně. Pozorované jevy správně fyzikálně vysvětlete z hlediska inerciální i neinerciální vztažné soustavy.



Fyzikální interpretace

V neinerciální vztažné soustavě spojené s nádobou je tíhové pole deformováno odstředivou silou. Výslednice obou sil

$$\vec{F} = (m\omega^2 x, -mg, 0).$$

Protože potenciální energie V je

$$\vec{F} = -\text{grad}V,$$

integrací \vec{F} obdržíme výraz

$$V = mgy - \frac{1}{2}m\omega^2 x^2.$$

Ekvipotenciální hladina $V = 0$ definuje tvar hladiny

$$y = \frac{\omega^2}{2g}x^2.$$

Řešení v inerciální vztažné soustavě je méně názorné, středoškolský rozbor čtenář nalezne v [2].

Pojmy

inerciální a neinerciální vztažná soustava, síla setrvačná, odstředivá, Coriolisova

3 Vybrané síly

3.1 Tíhová síla, těžiště

E 17 – Těžiště tělesa na magnetické tabuli

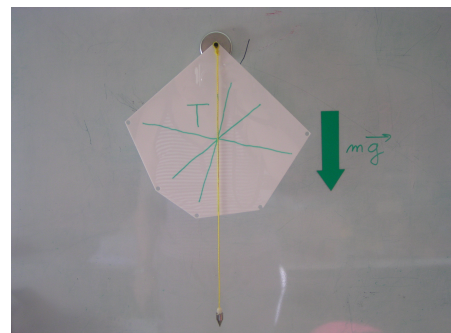
Těžiště tělesa a střed hmotnosti

Potřeby

- těleso na určení těžiště na magnetickou tabuli
- olovnice, fix nebo obyčejná tužka

Provedení

Najděte těžiště tělesa. Těleso zavěšujte za různá místa a vyznačujte těžnice.



Pojmy

těžiště tělesa a střed hmotnosti

E 18 – *Těžiště tyče na magnetické tabuli mimo tělo tyče

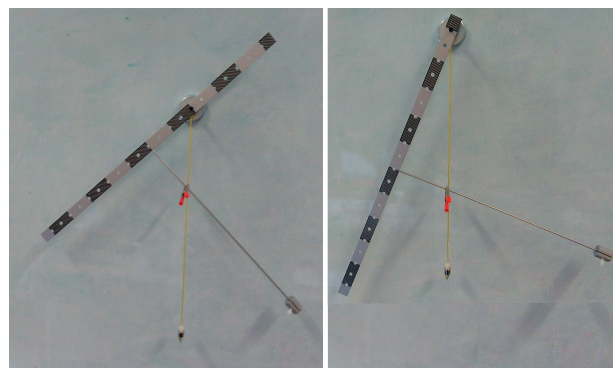
Těžiště nemusí ležet uvnitř tělesa.

Potřeby

- tyč s přívažkem
- olovnice, magnetická figurka nebo krosvorka na označení

Provedení

Najděte těžiště v tomto případě. Objasněte.



Pojmy

těžiště tělesa a střed hmotnosti

E 19 – Kvádry na nakloněné rovině

Těžiště kvádru v závislosti na rozložení hmoty

Potřeby

- nakloněná rovina se zarážkami
- kvádry s různě umístěným přívažkem

Provedení

Kvádry postavte na nakloněnou rovinu tak, aby se jednou hranou opíraly o zarážku. Začněte nakloněnou rovinu na jedné straně zvedat, dokud se některý kvádr nepřeklopí. Pokuste se experiment předvést tak, aby byl výsledek pro pozorovatele překvapivý.

E 20 – Charakteristiky stability

Jakými veličinami lze charakterizovat stabilitu tělesa?

Potřeby

- modrá nádobka
- láhev, zátka, korek, jehla, dvě vidličky, mince

Provedení

Upravte modrou nádobku tak, aby stála na své podstavě.

Modifikace pokusu

Umístěte na jehlu korek a na něj minci tak, aby, když špičku jehly opřete o zátku láhve, mince z korku nepadla.

Pojmy

těžiště, stabilita.

3.2 Síla pružnosti a Hookův zákon

E 21 – Demonstrace Hookova zákona na magnetické tabuli

Relativní prodloužení je přímo úměrné působícímu normálovému napětí.

Potřeby

- stupnice na magnetickou tabuli
- závaží, pružiny, siloměry a gumičky

Provedení

Ověřte platnost Hookova zákona pro pružiny, případně siloměry. Najděte jeho oblast platnosti pro gumičky.

Pojmy

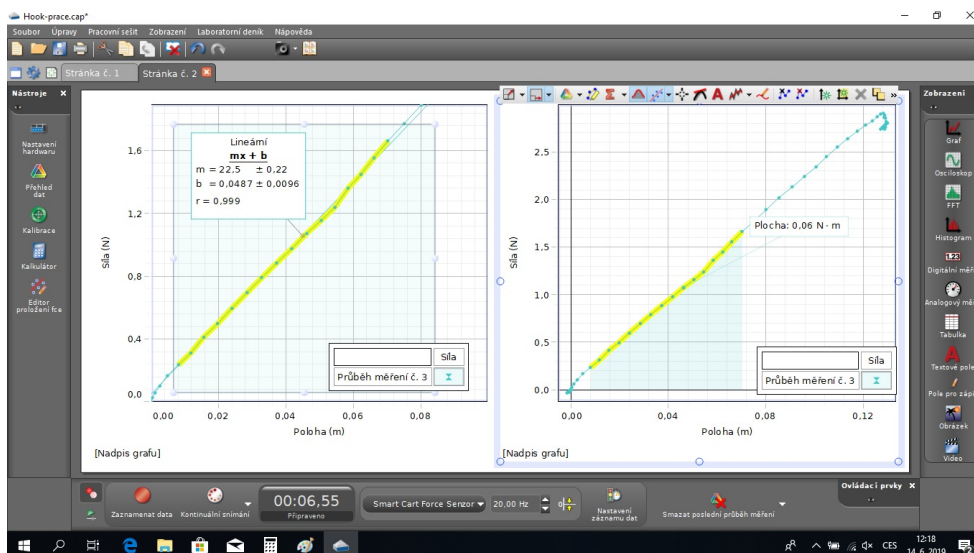
tuhost pružiny, Hookův zákon

E 22 – Měření tuhosti pružiny, vykonané práce a potenciální energie

Známe-li závislost síly na poloze, dokážeme určit tuhost pružiny a přírůstek potenciální energie pružné.

Provedení

Zopakujte experiment **E 34 Mechanická práce vykonaná při napínání gumičky** a z výsledků určete tuhost gumičky, vykonanou práci a potenciální energii pružnou.



Fyzikální interpretace

Vysvětlete případné neshody naměřených a vypočtených hodnot. Diskutujte, zda jste schopni ověřit splnění zákona zachování energie.

Modifikace pokusu

Místo gumičky použijte pružinu.

Pojmy

tohost pružiny, mechanická práce, vnitřní energie, potenciální a kinetická energie.

3.3 Třecí síla

E 23 – *Existence třecí síly na magnetické tabuli – demonstrace

Demonstrace rozdílu mezi smykovým a valivým třením.

Potřeby

- vodorovná rovina ze soupravy na magnetickou tabuli
- kvádřík či válec pro tažení na rovině
- siloměr potřebné citlivosti či kladka a závaží
- případně videokamera a počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)

Provedení

Tažením po vodorovné rovině ukažte rozdíl mezi třením smykovým a valivým.

Modifikace pokusu

Pokuste se prokázat rozdíl mezi smykovým a valivým třením analýzou videa.

Pojmy

tření smykové, tření valivé

E 24 – Statické a dynamické tření na vozíčkové dráze

Statické a dynamické smykové tření – kvalitativní ukázka rozdílu a kvantitativní určení

Potřeby

- vozíčková dráha Pasco s fluorescenční fólií, stojany na podložení
- vozíčky s blikáči
- podložka pro zvýšení tření na vozíčkové dráze

Provedení

Demonstrujte existenci třecí síly srovnáním pohybu vozíčku na dráze téměř bez tření a se zvýšeným třením na podložce.

**Modifikace pokusu**

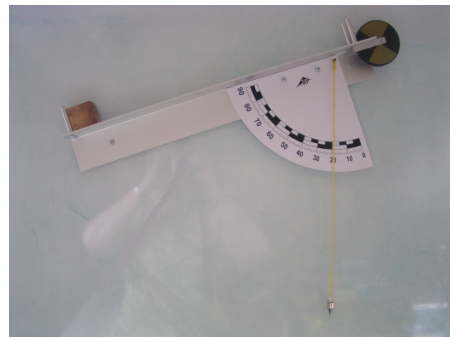
Užitím vozíku Pasco s možností určení polohy změřte ve stejném uspořádání veličiny, které umožní výpočet smykového tření.

E 25 – *Určení koeficientů tření pomocí nakloněné roviny na magnetické tabuli

Měření statického a dynamického tření určením úhlu náklonu roviny.

Potřeby

- vodorovná rovina ze soupravy na magnetickou tabuli
- kvádřík
- olovnice na sklonoměru nakloněné roviny



Provedení

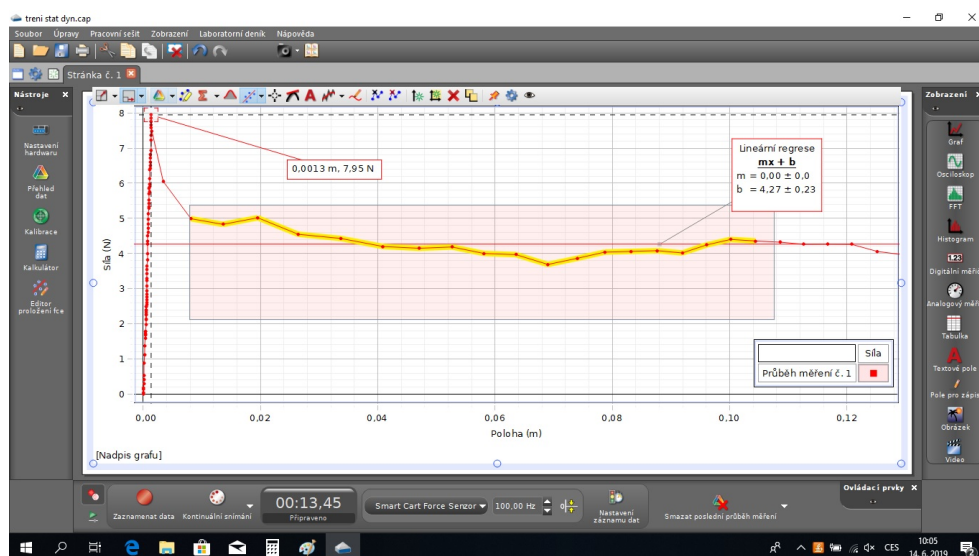
Sestavte pohybové rovnice pro těleso, které se pohybuje rovnoměrným pohybem po nakloněné rovině. Z nich určete vztah mezi úhlem náklonu roviny a dynamickým smykovým třením. Určete tento koeficient pro různé stěny kvádříku. Rozmyslete si, jak je potřeba změnit experiment pro nalezení koeficientu statického smykového tření. Koeficient buď změřte anebo ukažte, že je větší než koeficient tření dynamického.

E 26 – Statické a dynamické tření s chytrým vozíkem – kvantitativní měření z klidu do pohybu

Měření statického a dynamického tření určením síly potřebné pro odtržení tělesa z klidu a udržení v pohybu

Potřeby

- vozíček firmy Pasco s možností určení polohy s gumovým nárazníkem
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)
- kniha, dřevěný hranol nebo podobný objekt
- případně vozíčková dráha Pasco, kladka, lanko, nádoba na dolévání vody, voda a zásobní nádoba



Provedení

Na počátku měření vynulujte senzor síly. Dotkněte se nárazníkem knihy a tlačte na ni, dokud ji nevedete do pohybu. Při měření zobrazujte závislost síly na poloze vozíku. Po chvíli měření zastavte.

Modifikace pokusu

K vozíčku přivažte lanko, ved'te jej přes kladku na konci vozíčkové dráhy. K lanku přivažte nádobu na dolévání vody, vozíček zatěžte tak, aby souprava byla v klidu. Zapněte měření polohy a síly působící na vozík a začněte nalévat do nádoby vodu. Pokračujte tak dlouho, dokud se soustava nedá do pohybu. Po chvíli zastavte měření.

Fyzikální interpretace

Jak z naměřené závislosti určit koeficient statického a dynamického tření?

E 27 – Kužel tření sypkých hmot

Existence třecí síly. Rozklad sil.

Potřeby

- kužel na kovové tyčce zakončené očkem
- kádinka
- baňka kulovitěho tvaru s hrdlem
- sůl v kádince

Provedení

Kužel vložte na dno kádinky, zasypte solí, utřepete sůl, pokuste se kužel vytáhnout. Totéž zopakujte pro případ, že kužel vložíte do baňky – sůl musí naplnit baňku až po hrdlo a do něj.

Fyzikální interpretace

Jak vysvětlíte pozorování?

Pojmy

tření statické, rozklad sil

4 Statika

4.1 Skládání sil

E 28 – *Skládání sil působících v jednom bodě a sil rovnoběžných na magnetické tabuli

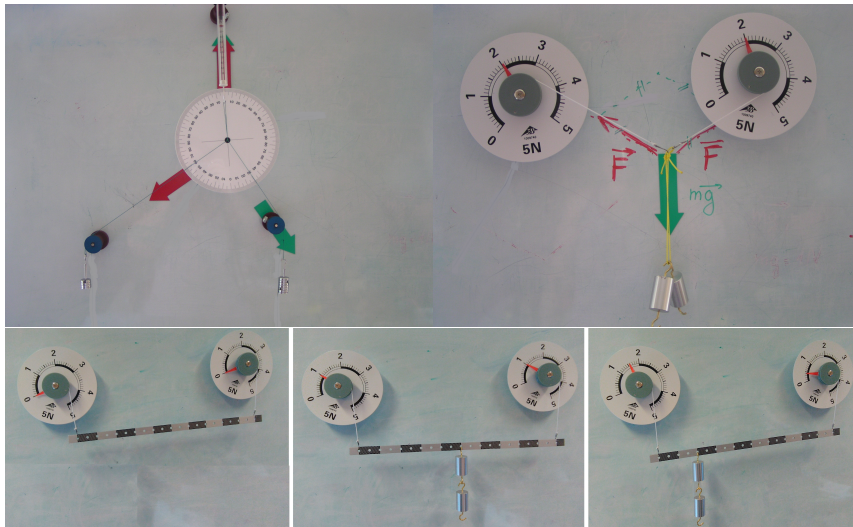
Skládání a rozklad sil působících na těleso v jednom bodě lze snadno zviditelnit na magnetické tabuli.

Potřeby

- siloměry ze soupravy na magnetickou tabuli
- úhlový kotouč
- lanka, kladky, závaží

Provedení

Pomocí siloměrů, páky a závaží demonstруйте skládání a rozklad sil působících v jednom bodě či rovnoběžných sil v různých situacích.

**Pojmy**

síla, složky síly, skládání sil

4.2 Moment síly**E 29 – *Moment síly na páce na magnetické tabuli**

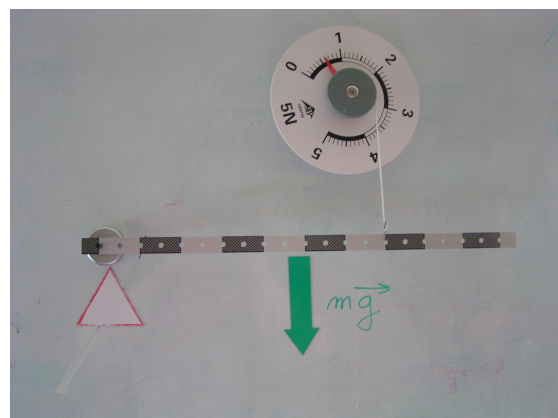
Moment síly definovaný pomocí vzdálenosti vektorové přímky síly od osy otáčení

Potřeby

- páka na magnetickou tabuli
- siloměr, případně závaží na magnetickou tabuli.

Provedení

Demonstруйте existenci osy otáčení, vektorové přímky síly, její vzdálenosti od osy otáčení a momentu síly.

**Pojmy**

moment síly jako součin síly a vzdálenosti vektorové přímky síly od osy otáčení

E 30 – *Momentový kotouč na magnetické tabuli

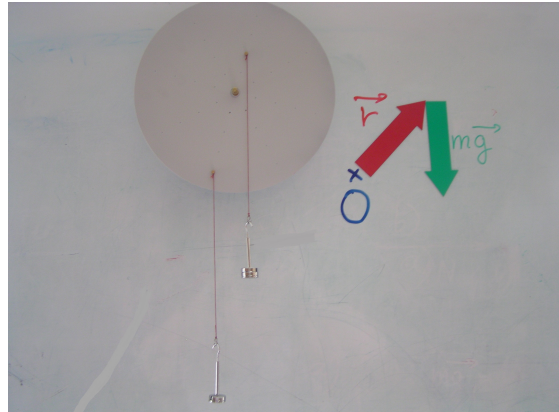
Moment síly definovaný pomocí síly a ramene síly.

Potřeby

- momentový kotouč na magnetickou tabuli
- siloměr, případně závaží na magnetickou tabuli.

Provedení

Demonstrujte existenci osy otáčení, vektorové příčky a ramene síly a určení směru a velikosti momentu síly.



Pojmy

síla, moment síly, rameno síly

4.3 Rovnováha na páce

E 31 – *Momentová rovnováha sil na magnetické tabuli

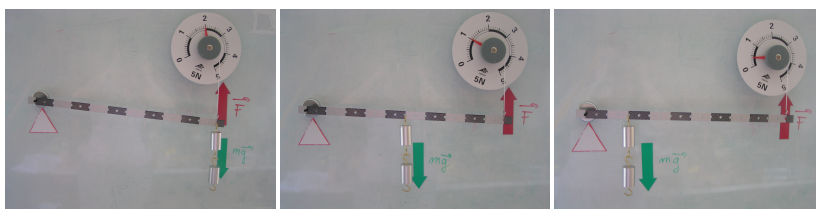
Rozdíl mezi silovou a momentovou rovnováhou.

Potřeby

- páka, siloměry, závaží na magnetickou tabuli

Provedení

Ukažte několik příkladů momentové rovnováhy sil na magnetické tabuli.



Pojmy

síla, moment síly, rameno síly

E 32 – *Jednozvrtná a dvojzvrtná páka na magnetické tabuli

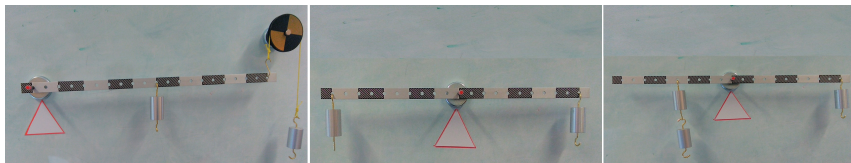
Rozdíl mezi pákou s osou otáčení na okraji a uprostřed

Potřeby

- páka, siloměry, závaží na magnetickou tabuli

Provedení

Sestavte ukázky jednozvrtné a dvojzvrtné páky.



Pojmy

síla, moment síly, rameno síly, páka

4.4 Jednoduché stroje

E 33 – *Kladka volná a pevná, jednoduché kladkostroje na magnetické tabuli

Kladka je principiálně popsatelná pomocí dvou fyzikálních zákonů – momentové rovnováhy a zákona zachování energie

Potřeby

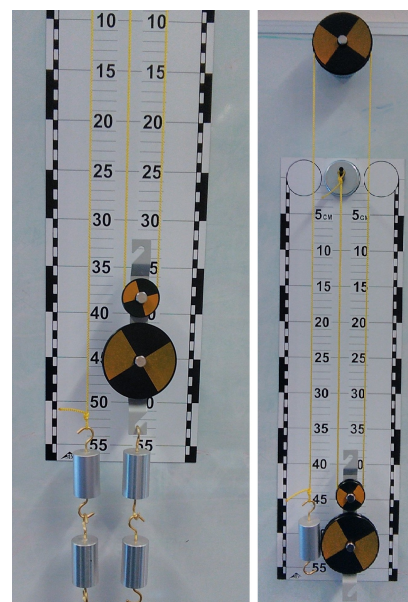
- kladky ze souprav pro magnetickou tabuli
- závaží a stupnice

Provedení

Sestavte kladku pevnou, volnou a jednoduché kladkostroje. Interpretujte je z hlediska síly potřebné ke zdvihu břemene a dráhy, po které musíme touto silou působit. Lze-li to, určete účinnosti kladek.

Pojmy

kladka pevná, volná, kladkostroj



E 34 – Jednoduché stroje v běžném životě

Jednoduché stroje se skrývají v řadě předmětů denní potřeby.

Potřeby

- běžné předměty denní potřeby, nářadí

Provedení

Demonstrujte a objasněte, jak fungují jednoduché předměty denní potřeby (nůžky, kleště, vruty,...) na principu jednoduchých strojů.

Pojmy

páka, kladka, kolo na hřídeli, nakloněná rovina, klín a šroub

5 Rotace těles

E 35 – Okamžitá osa rotace při valení – cívka s nití

Moment síly nám umožňuje předpovědět a zvolit si, kam se bude těleso pohybovat.

Potřeby

- cívka (např. od drátu či od kabelu) s namotanou nití

Provedení

Zatáhněte za nit namotanou na cívce tak, aby se valila směrem k vám, od vás, anebo se smýkala.

Fyzikální interpretace

Kde se při pohybu nachází osa rotace?

Pojmy

moment síly, osa rotace

E 36 – Dutý a plný válec na nakloněné rovině – demonstrace a videoanalýza

Který válec bude na spodním konci nakloněné roviny dříve?

Potřeby

- nakloněná rovina
- dutý a plný válec
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)

Provedení

Oba válce umístěte na horní okraj nakloněné roviny a současně pusťte. Natočte záznam pohybu obou válců.

Fyzikální interpretace

Jaké všechny údaje lze z videozáznamu získat?

Pojmy

mechanická energie, potenciální a kinetická energie translační a rotační, úhlová rychlost, moment setrvačnosti

E 37 – Určení momentu setrvačnosti

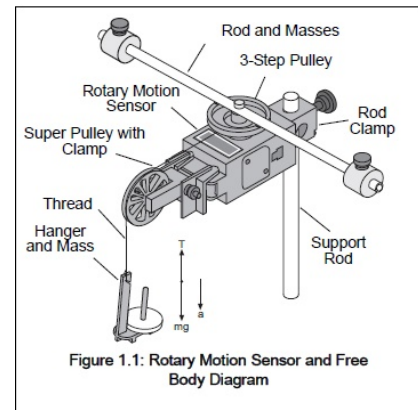
Určení momentu setrvačnosti rotujícího tělesa pomocí kladky Pasco

Potřeby

- Pasco kladka (rotary motion sensor)
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)
- provázek, kladka, závaží

Provedení

Na počátku měření vynulujte senzor polohy. Měřte jednak výšku sestupu závaží, jednak úhlovou rychlost otáčení kladky-senzoru. Případně roztočte těleso jen rukou a měřte doběh.



Modifikace pokusu

Na kladku upevněte disk a během pohybu na něj položte další disk.

Fyzikální interpretace

Z naměřených hodnot určete moment setrvačnosti tělesa a jeho rotační kinetickou energii. Které zákony zachování platí a které ne?

6 Zákony zachování

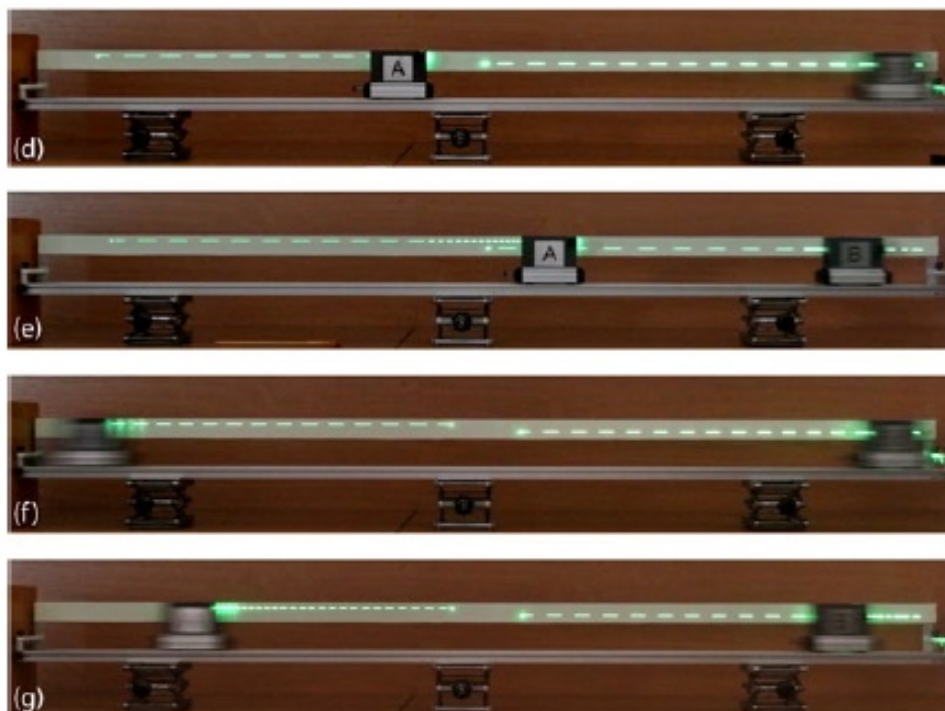
6.1 Zákon zachování hybnosti

E 38 – Zákon zachování hybnosti na vozíčkové dráze – demonstrace i měření

Zákon zachování hybnosti – pružná a nepružná srážka.

Potřeby

- vozíčková dráha Pasco s fluorescenční fólií, stojany na podložení
- vozíčky firmy Pasco s blikáči
- případně vozíčky firmy Pasco s možností určení polohy a počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)



Příprava

Vozíčkovou dráhu dobře vyrovnejte, aby byla vodorovná.

Provedení

Demonstrujte a objasněte všechny situace, které jsou vidět na obrázku.

Modifikace pokusu

Situace pomocí vozíků *Smart Cart* kvantitativně proměřte. Případné rozdíly vůči očekávání zdůvodněte.

Fyzikální interpretace

Jak vysvětlíte pozorování?

Pojmy

zákon zachování hybnosti, pružný a nepružný ráz

E 39 – Archimedovo dělo – pád kuliček v rouře

Pružný ráz koulí v jedné dimenzi. Zákon zachování hybnosti, skládání hybností

Potřeby

- ocelová trubka uchycená ve stojanu a zakončená kovadlinou
- velká a malá ocelová kulička

Technické problémy

Nikdo rozumný nepozoruje experiment s okem přímo nad horním koncem trubky!!!

Provedení

Položte malou kuličku na horní vrchol velké a obě najednou spouštěte do roury. Pozorujte pohyb kuliček při návratu k hornímu okraji roury. Vysvětlete.

Pojmy

zákon zachování hybnosti, pružný a nepružný ráz

E 40 – *Balistické kyvadlo (kladivo) – první přiblížení

Nejznámější experiment na demonstraci platnosti zákona zachování hybnosti

Potřeby

- balistické kyvadlo (kladivo) s příslušenstvím
- vhodné zařízení na měření rychlosti, například optická závora

Provedení

Na počátku měření dejte ručičku na hodnotu nula na stupnici. Nabijte ocelovou kuličkou do první polohy odpalovač. Odpalte a pozorujte. Změřte úhel, na kterém se zastaví ručička. Vypočítejte rychlost kuličky při odpálení. Změřte tuto rychlost ještě i jinou metodou, například pomocí optické závory.



Fyzikální interpretace

Jak z naměřené hodnoty úhlu určit rychlost odpálení kuličky? Platí zákon zachování energie – pokud ano, mezi jakými stavy ano a mezi jakými ne? Vysvětlete případné neshody naměřené a vypočtené hodnoty rychlosti.

Pojmy

zákon zachování hybnosti, zákon zachování energie, vnitřní energie, potenciální a kinetická energie.

6.2 Zákon zachování momentu hybnosti

E 41 – *Balistické kyvadlo (kladivo) – detailní rozbor

Správný rozbor předchozího experimentu.

Provedení

Rozeberte předchozí experiment správně – platí nikoliv zákon zachování hybnosti, ale momentu hybnosti. Co je potřeba ještě naměřit?

Fyzikální interpretace

Jak tato korekce zlepší shodu vypočtené a naměřené hodnoty rychlosti? Je tento výklad přijatelný pro středoškoláky?

Pojmy

zákon zachování hybnosti a momentu hybnosti, zákon zachování energie, vnitřní energie, potenciální a kinetická energie.

E 42 – Rotace na točně, Wattův odstředivý regulátor otáček

Experiment s točícím se krasobruslařem v laboratoři

Potřeby

- točna nebo otočná židle, dvě stejná závaží
- případně vozíky Pasco s možností odečtu polohy
- případně roztočený setrvačnick
- Wattův odstředivý regulátor otáček

Provedení

Postavte se na točnu nebo posaďte na otočnou židli. Do rukou vezměte závaží a nechte se roztočit. Přitahováním a odtahováním rukou od těla měňte svou úhlovou rychlost otáčení.

Fyzikální interpretace

Jaké zákony zachování platí? Jaké zákony zachování neplatí? Jak je to s konáním práce? Vysvětlete všechny provedené experimenty.

Modifikace pokusu

1. Pohybujte kromě závaží i Pasco vozíky a měřte složku úhlové rychlosti ve směru správné osy.
2. Měňte svou úhlovou rychlost otáčení vhodnou manipulací s roztočeným setrvačnickem.
3. Ve stoje na podlaze roztočte Wattův odstředivý regulátor otáček v horní poloze a stlačte jej pákou dolů.

Pojmy

zákon zachování hybnosti a momentu hybnosti, zákon zachování energie, vnitřní energie, potenciální a kinetická energie.

6.3 Mechanická práce

E 43 – Mechanická práce vykonaná při napínání gumičky

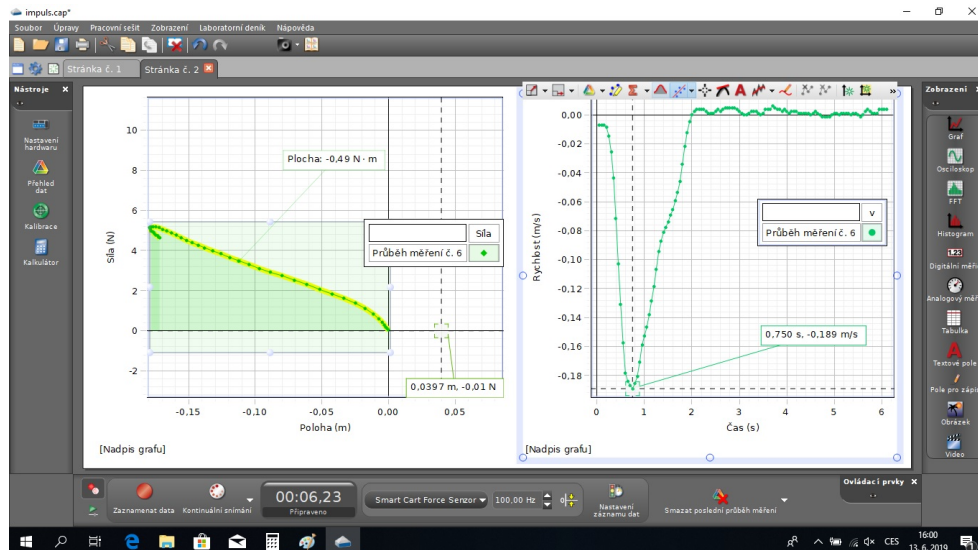
Měření práce pružné síly. Souvislost práce a kinetické energie

Potřeby

- vozíček firmy Pasco s možností určení polohy s háčkem
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)
- gumička a stojan na její uchycení.

Provedení

Na počátku měření vynulujte senzor síly. Gumičku na jednom konci upevněte pevně (stojan, prst) a na druhém na háček vozíku. Táhněte vozík a znázorňujte závislost síly na poloze. Po chvíli měření zastavte.



Fyzikální interpretace

Jak z naměřené závislosti určit vykonanou práci? Kdo tuto práci koná? Jak určit přírůstek kinetické energie, čemu přísluší? Vysvětlete případné neshody naměřených a vypočtených hodnot.

Pojmy

mechanická práce, vnitřní energie, potenciální a kinetická energie.

E 44 – Určení mechanické práce různých sil

Jsmo-li schopni měřit závislost působící síly na poloze, jsmo schopni určit vykonanou mechanickou práci.

Provedení

Vyhodnoťte z hlediska konání práce experimenty **E 6 – E 11** a **E 20 – E 23**.

Pojmy

mechanická práce, vnitřní energie, potenciální a kinetická energie.

6.4 Zákon zachování energie

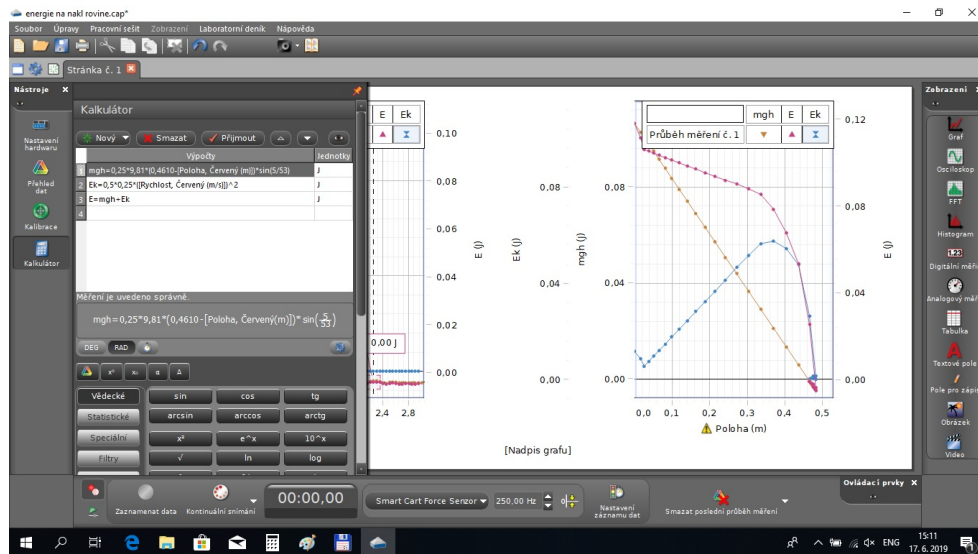
E 45 – Zákon zachování energie na nakloněné rovině – kvantitativní měření

Určení potenciální, kinetické a celkové energie z naměřených hodnot

Potřeby

- vozíček firmy Pasco s možností určení polohy s nárazníkem
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)
- nakloněná rovina a sklonoměr

- případně nakloněná rovina na magnetickou tabuli a kvádřík, videokamera, počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)



Provedení

Na počátku měření vynulujte senzor polohy. Určete maximální výšky vozíku nad vodorovnou rovinou. Pomocí kalkulátoru naprogramujte nové veličiny – potenciální, kinetickou a celkovou energii. Pusťte vozík z nakloněné roviny, při měření zobrazujte přímo výše uvedené energie v závislosti na vhodné veličině.

Modifikace pokusu

Zopakujte předchozí experiment, tentokrát získejte výsledky analýzou videa.

Fyzikální interpretace

Vysvětlete získané křivky, rozhodněte, zda platí zákon zachování mechanické energie. Vysvětlete případné neshody naměřených a vypočtených hodnot.

Pojmy

mechanická energie, potenciální a kinetická energie.

E 46 – Pohyb po brachystochroně – videoanalýza

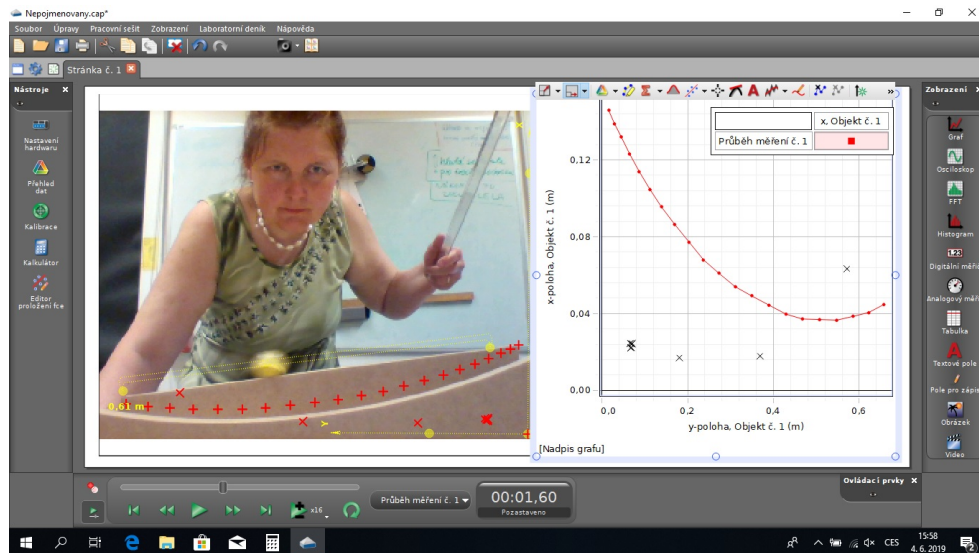
Zachycení trajektorie pohybu a její počítačové zpracování.

Potřeby

- model brachystochrony
- dva míčky stejné velikosti, ale různé hmotnosti
- videokamera (např. zabudovaná v počítači či tabletu)
- optická závora nastavená na měření rychlosti míčku na konci dráhy
- počítač (tablet) se software Pasco Capstone (SparkVue)

Provedení

Pomocí videoanalýzy (případně optické závory) analyzujte kinematické veličiny kuličky při pohybu po dráze. Změřte celkový čas potřebný k projití brachystochrony a nakloněné roviny. Obdobně jako v předchozím experimentu určete potenciální, kinetickou a celkovou energii a proveďte diskuzi výsledků.



Technické problémy

Závora je zapotřebí umístit vždy do výšky, kterou prochází střed kuličky. V opačném případě bude změřená rychlost větší než skutečná.

Fyzikální interpretace

1. Prostudujte si vývoj naměřených kinematických veličin, zejména rychlosti a zrychlení. Porovnejte i celkové časy, kterou kulička potřebuje k projití nakloněné roviny a brachystochrony. Vysvětlete, proč je průměrná rychlost pohybu po brachystochroně tak vysoká.
2. Předpovězte a změřte rychlosti kuliček na konci obou drah. Za jakých podmínek budou či nebudou stejné? Uvažte, že model brachystochrony a nakloněné roviny představuje pohyb po různých křivkách v tíhovém poli mezi dvěma body prostoru.
3. Jak se vaše předpovědi změní, budete-li kuličku považovat za kouli a ne hmotný bod? Bude nyní v předpovědi hrát roli hmotnost či rozměr kuliček? Zaveďte efektivní hmotnost ve výrazu pro kinetickou energii hmotného bodu při valivém pohybu kuličky.

Pojmy

brachystochrona, nakloněná rovina, okamžitá a průměrná rychlost, průměrná velikost rychlosti, okamžitá a průměrné zrychlení, konzervativní a nekonzervativní síly, potenciální energie, translační a rotační kinetická energie

Reference

- [1] https://www.physics.muni.cz/kof/clanky/Bochnicek2017_klasicke.pdf
- [2] https://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/mechanika/lib/exe/fetch.php?media=experimenty_rot:paraboloid:odvozeni_is:ss_odvozeni_is.pdf