

NÁRAZ NA KOLEJÍCH - PRUŽNÁ SRÁŽKA – zákon zachování hybnosti

?

Tento případ známe z kulečnicku. Bílá koule naráží do koule barevné, a zatímco sama zůstává po srážce stát, barevná koule se dává do pohybu. Říkáme, že první koule uděluje druhé kouli hybnost. (Nehýbala se a teď se hýbe.) Na kolejích stojí vagon a zezadu do něho narazí vagon jedoucí. Nárazníky obou vagonů fungují, takže oba vagony se během srážky vždy od sebe pružně odrazí. Vagon, který se původně pohyboval, po srážce zůstává stát, zatímco ten, který byl před srážkou nehybný, nyní jede.

Jak budou vypadat nově nabyté rychlosti prvního (naráženého) vagonu po srážce, když se budou měnit hmotnosti obou vagonů?

POMŮCKY



- 2 x Vozíček s integrovaným senzorem vzdálenosti, rychlosti a zrychlení.
- 2 x Přídavná závaží o hmotnosti 250 g. (Hmotnost samotného vozíku je také 250 g.)
- Vhodně zkonstruovaná „narážecí dráha“. (Vozíčky lze posílat proti sobě pouze na lavici, je však třeba, aby lavice byla, pokud možno, rovná – viz dále v oddíle Na co si dát pozor).
- Počítač (tablet, telefon) s měřícím software.

CÍLE



Žáci budou měřit rychlost dvou vozíčků, které do sebe budou pružně narážet. Hmotnosti narážejícího (m_1) i naráženého (m_2) vozíčku budou měnit tak, aby tyto hmotnosti zůstávaly v celočíselných poměrech. Budou sledovat, že rychlosti obou vozíčků budou v poměrech obrácených. Z tohoto faktu vyvodí zákon zachování hybnosti – hybnost (součin rychlosti a hmotnosti) prvního vozíčku před srážkou je rovna hybnosti druhého vozíčku po ní (více viz Shrnutí a rozšíření).

POSTUP



- 1 Vytvoříme nárazníkovou dráhu, na kterou umístíme stojící vozík o hmotnost m_2 (vozík narážený).
- 2 Pro zobrazení dat zvolíme graf rychlostí obou vozíků v_1 a v_2 .
- 3 Začneme měřit a rozjedeme vozík o hmotnosti m_1 (narážející) tak, aby svým magnetickým nárazníčkem narazil přesně do magnetického nárazníčku vozíku naráženého.

Úloha
č. 36

Náraz na kolejích - Pružná srážka - Zákon zachování hybnosti

2. stupeň ZŠ / Návrh úlohy vypracoval: Miroslav Staněk

- 4 Vozíčky se snažíme narážet tak šikově, aby se během nárazu stojící rozjel jedoucí naopak úplně zastavil. (Aby se veškerá hybnost nárazěcího předala náraženému.)
- 5 Měření několikrát opakujeme s různě osazeným přídavným závažím. Násobně měníme hmotnost nárazěcího i náraženého.
- 6 Sledujeme, co změny v hmotnostech udělají s rychlostmi.



Obr. 1

Sestava a pomůcky pokusu. Vozíčky budeme proti sobě posílat tak, aby se navzájem srážely magnetickými nárazníky, zabudovanými v siloměrech vozíčků.

ÚKOLY

- Sledujte, jak se během pružných srážek v čase vyvíjí grafy rychlostí nárazěcího a náraženého vozíku, když měníme vzájemné poměry jejich hmotností. Z naměřených rychlostí vypočítejte hybnost vozíčků před srážkou a po srážce.
- Z naměřených a vypočtených hodnot vytvořte tabulku.

Před srážkou					Po srážce				
Narážející vozík		Narážený vozík		Celková hybnost	Narážející vozík		Narážený vozík		Celková hybnost
m_1 (kg)	v_1 (m/s)	m_2 (kg)	v_2 (m/s)		m_1 (kg)	v_1 (m/s)	m_2 (kg)	v_2 (m/s)	
0,25		0,25			0,25		0,25		
0,25		0,5			0,25		0,5		
0,25		0,75			0,25		0,75		
0,5		0,25			0,5		0,25		
0,75		0,25			0,75		0,25		

Úloha č. 36

Náraz na kolejích - Pružná srážka - Zákon zachování hybnosti

2. stupeň ZŠ / Návrh úlohy vypracoval: Miroslav Staněk

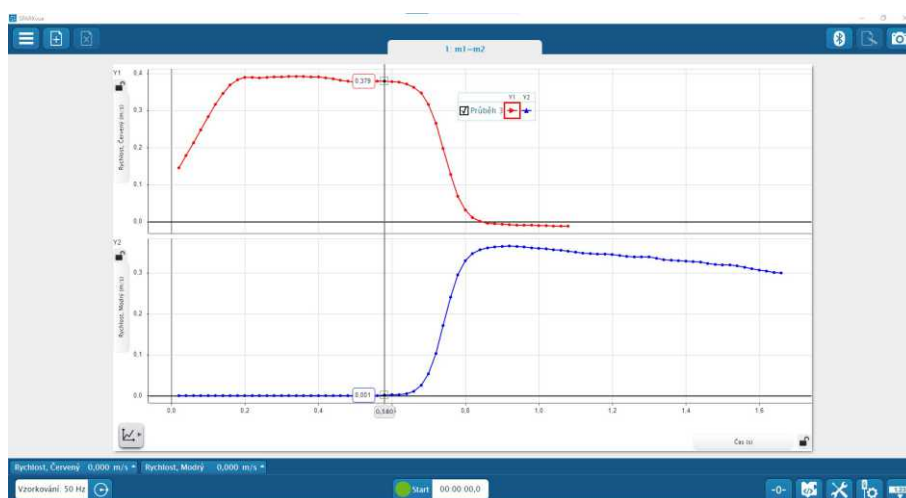
VÝSLEDEK POKUSU



Na grafech rychlostí v_1 a v_2 (m/s) je krásně vidět, že rychlosti obou vozíčků jsou v obrácených poměrech k jejich hmotnostem.

Z tohoto faktu vyvodí zákon zachování hybnosti – hybnost (součin rychlosti a hmotnosti) prvního vozíčku před srážkou je rovna hybnosti druhého vozíčku po ní. (Správně: celková hybnost celé soustavy je před srážkou a po srážce stejná. Více viz Shrnutí a rozšíření.)

Obr. 2
Graf měření rychlostí v čase.
Toto je případ, kdy mají oba vozíčky stejnou hmotnost – rychlost narážejícího před nárazem je rovna rychlosti naraženého po nárazu.



SHRUTÍ A ROZŠÍŘENÍ



Pokus jako takový: Ačkoli téma zákona zachování hybnosti není většinou zahrnuto v ŠVP ZŠ, autor úlohy věří, že si pozornost učitelů zaslouhuje a pozornost dětí přitáhne. Jedná se totiž o fenomén, který je pro pochopení fungování světa zcela zásadní.

ZZH se na ZŠ nemusí „řešit“ nijak složitě a akademicky. Postačí, zůstaneme-li s mnoha žáky ZŠ u samotného sledování tohoto jevu. To, že jedno těleso uvádí nárazem v pohyb těleso druhé, znají děti velmi dobře z fronty ve školní jídelně. Dozvědět se, že za tímto jevem se skrývá fyzikální pojem hybnosti, jim jistě neuškodí. I pouze pokus s narážejícími vozíčky, bez vzorců a výpočtů, stačí k názornému pochopení fenoménu hybnosti.

Z hlediska názornosti pokusu je vhodné využít vozíčky dvou barev (červený a modrý) a tyto barvy následně použít i v grafickém zobrazení naměřené rychlosti.

Vzorce a výpočty: „Fyzikálně správně“ je uvažovat v této úloze neustále o soustavě obou vozíčků. ZZH by pak byl dokázán tím, že celkový součet hybností obou vozíků před a po srážce je stejný.

$$1) \quad m_1 v_1 + m_2 v_2 \text{ (před srážkou)} = m_1 v_1 + m_2 v_2 \text{ (po srážce)}$$

Ve speciálním případě, kdy narážený vozík před – a narážející po – srážce stojí, vidíme, že jejich příspěvky k celkové hybnosti jsou vždy v konkrétní fázi nulové:

$$2) \quad m_1 v_1 + 0 \text{ (před srážkou)} = 0 + m_2 v_2 \text{ (po srážce)}$$

Úloha
č. 36

Náraz na kolejích - Pružná srážka - Zákon zachování hybnosti

2. stupeň ZŠ / Návrh úlohy vypracoval: Miroslav Staněk

Osobně jsem se ale setkal s tím, že tento (správný) koncept je pro žáky ZŠ hůře pochopitelný. (Proč počítáme složité rovnice, ve kterých navíc používáme nulové členy?) Z toho důvodu lze úlohu zjednodušit a namísto vyčíslování celého systému jednoduše vysvětlit, že „hybnost jednoho se předává do hybnosti druhého“ a hybnosti stojících vozíků do výpočtu nezahrnovat:

$$3) \quad m_1 v_1 \text{ (před srážkou)} = m_2 v_2 \text{ (po srážce), tj.}$$

$$4) \quad m_2 / m_1 = v_1 / v_2$$

Z takto vyjádřeného poměru a z grafů rychlostí vozíků žáci přímo vidí, že: je-li narážený vozík dvojnásobně těžký, jeho rychlost je poloviční, nežli byla rychlost narážejícího, jeli trojnásobně těžký, jeho rychlost je třetinová, jeli jeho hmotnost poloviční, je jeho rychlost po srážce dvojnásobná atp.

Samozřejmě, toto platí pouze v případě, že narážející vozík se během elastické srážky úplně zastaví!

To se nemusí povést vždycky! Někdy se naopak po srážce vydá opačným směrem (tj. se zápornou rychlostí). I v tomto případě, ovšem, platí ZZH. V tomto obecném případě může názornosti pomoci připravená tabulka s navazující fází porovnávání výpočtů. Pak tuto úlohu můžeme koncipovat jako úlohu pro starší – či nadané žáky, resp. do fyzikálního semináře.

Informatické rozšíření: Práce s tabulkou a porovnávání výpočtů hybností může být využita i pro rozvoj digitálních kompetencí žáků. Tabulka nemusí být vytvořena pouze v papírové podobě, jako je tomu níže v návrhu na Pracovním listě žáka. Naopak, její elektronické zpracování žákům ukáže výhodnost strojového zpracování dat: výpočty hybností nemusí být prováděny na kalkulačce, stejná tabulka může být využita pro více různých podmínek experimentu (vozíky s různě rozloženými závažími) apod.

Součástí této metodiky je také excelový soubor s návrhem takové tabulky.

NA CO
SI DÁT
POZOR

Konstrukčně a přípravou je tato úloha celkem jednoduchá. Vozíčky totiž můžeme proti sobě posílat přímo na lavici. Vyžaduje pak ale vyšší šikovnost zajistit, aby magnetické nárazníčky, které zajišťují pružnost srážky (tj. takovou srážku, při které není spotřebována energie), opravdu narazily přesně na sebe. To se často nedaří, narážející čela vozíků se o sebe smýkají, srážky nepruží...

Těmto obtížím se lze vyhnout tehdy, použijeme-li dráhu, kterou každý výrobce měřicích pomůcek má ve svém sortimentu jako příslušenství k vozíčku náležející. Takováto dráha je jednak zaručeně rovná, takže úbytek hybnosti vozíčku „po cestě“ je minimální, navíc kolečka vozíčku drží přesně ve vyfrézované kolejnici, takže náročnost vypouštění narážejícího vozíčku je minimální a jistota trefy do nárazníku vozíčku naráženého je téměř stoprocentní.

Poslední zádrhel je v samotném měření rychlostí. Tím, že oba vozíčky míří nárazníčky k sobě (tj. jsou k sobě čelem) znamená, že narážený vozík bude po nárazu de facto couvat. A protože rychlost je vektorová veličina, na jejímž směru záleží, bude rychlost naráženého vozíku na grafu znázorněna jako záporná. Pokud se chceme vyhnout (v tomto okamžiku zbytečně rozptylujícímu) vysvětlování, proč tomu tak je, je zapotřebí před pokusem u naráženého vozíčku prohodit znaménko měřené rychlosti.

Úloha
č. 36**Náraz na kolejích - Pružná srážka – Zákon zachování hybnosti**

2. stupeň ZŠ / Návrh úlohy vypracoval: Miroslav Staněk

Tento experiment by se měl bez problémů vměstnat do časového rámce 45 min. Vyšší časovou dotací však nepohrdne, zvláště v případě, že by měl pokus obsahovat i výše popsané výpočetní a infromatické oblasti! V takovém případě je úloha „schopna“ zabrat i tři vyučovací hodiny (část z nich však může poskytnout informatika, jejíž cíle tato fyzikální úloha naplňuje – a využívá.

Budeme-li lpět na tom, aby se narážející vozíček při nárazu zastavil, je třeba velice pečlivě zkonstruovat dráhu (dát ji do absolutní roviny). K tomu dobře slouží aretační šrouby, které jsou součástí dráhy. Naměření dat lze dosáhnout relativně snadno. Analýze a vysvětlení toho, čeho jsou žáci očitými svědky, je však třeba věnovat dostatečný prostor.

Tato úloha je tematicky vhodná pro 2. stupeň ZŠ. Obsahuje mnoho rozšiřujících témat pro práci s nadanými žáky. Vzhledem k vysoké názornosti měřených fenoménů je možné koncipovat ji badatelsky. (Snad i mezi vašimi žáci se naleznou tací, kteří závislost hmotností a rychlostí z viděného odvodí!)

Je třeba dbát bezpečnosti badatelů i měřicí techniky! Vozíček, který absolvuje volný pád (či šikmý vrh) přes okraj lavice, se může poškodit. Navíc, dopadne-li na nohu badatelovu, nastává srážka nepružná. Zákon zachování hybnosti je však stále platný, a to v tomto případě velmi hmatatelně!