

- [15] Nováková, A., Chytrý, V., Říčan, J.: Vědecké myšlení a metakognitivní monitorování studentů učitelství pro 1. stupeň základní školy. *Scientia in educatione*, roč. 9 (2018), č. 1, s. 66–80.
- [16] Bělecký, Z.: Vzdělávací strategie 7. Dostupné z: <http://www.ucitel-ske-listy.cz/2010/01/zdenek-belecky-serial-vzdelavaci.09.html>
- [17] Kolektiv autorů: Průvodce pro učitele badatelsky orientovaným vyučováním. Sdružení Tereza, Praha, 2013. Dostupné z: http://www.zsmltu.cz/dum/BOV/BOV/DATA/01_PRUVODCE_PRO_UCITELE/00_PR%D9VODCE_CELA_KNIHA/01_Pruvodce_pro_ucitele.pdf
- [18] <https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/>
- [19] Papáček, M.: B adatelsky orientované přírodovědné vyučování – cesta pro biologické vzdělávání generací Y, Z a alfa? *Scientia in educatione*, roč. 1 (2010), č. 1, s. 33–49.
- [20] Janoušková, S. a kol.: Přírodovědná gramotnost v primárním a raném období primárního vzdělávání jako prostředek zvýšení zájmu o studium přírodovědných a technických oborů. *Scientia in educatione*, roč. 5 (2014), č. 1, s. 36–49.

Inovativní demonstrace druhého Newtonova zákona

ČENĚK KODEJŠKA

Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Ověření druhého Newtona zákona patří mezi základní demonstrační experimenty prvního ročníku gymnázia. Problémem tohoto experimentu je volba vhodné působící síly, která uděluje danému tělesu určité zrychlení. Klasické uspořádání se vzduchovou dráhou je většinou obtížně realizovatelné z důvodu malé přesnosti naměřených hodnot.

Uspořádání experimentu s vozíčkovou dráhou a vozíkem, který je přes kladku urychlován zavěšeným závažím, naráží zase na problém výsledného vztahu pro zrychlení vozíku, který není závislý pouze na hmotnosti vozíku m_1 , ale i na hmotnosti závaží m_2 , jak ukazuje následující vztah (1), a to i

v případě, že zanedbáme tření ($f = 0$), [1]:

$$a = \frac{g(m_2 - fm_1)}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

Zrychlení je podle druhého Newtonova zákona definováno vztahem (2)

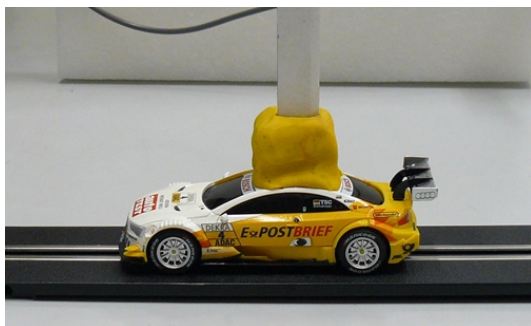
$$a = \frac{F}{m}, \quad (2)$$

kde F je síla působící na těleso a m je hmotnost tělesa.

Potřebujeme tedy experiment zrealizovat takovým způsobem, aby hnací síla byla přímo součástí vozíku, u kterého navíc musíme mít možnost měnit jeho hmotnost. Po několika různých zkušebních pokusech s různými typy pohonů jsme dospěli pouze k jedinému reálně možnému experimentálnímu uspořádání, jehož jednoduchost provedení a použité pomůcky zvyšují atraktivitu tohoto experimentu.

Příprava experimentu

Jako zdroj síly jsme použili elektromechanický pohon autíčka auto-dráhy, kterou jsme napájeli různým napětím. Protože velikost napájecího napětí je přímo úměrná síle vyvinuté elektromotorkem, můžeme tímto způsobem demonstrovat závislost velikosti zrychlení na působící síle. Na autíčko jsme pak pomocí modelíny dokázali připevnit ocelové válečky o hmotnostech 50 g a 100 g a při konstantním napájecím napětí pak ověřit i závislost velikosti zrychlení na hmotnosti autíčka. Jedinou nevýhodou tak zůstává pořizovací cena použitých pomůcek, která činí přibližně 800 Kč. Vliv třecích sil jsme zanedbali.



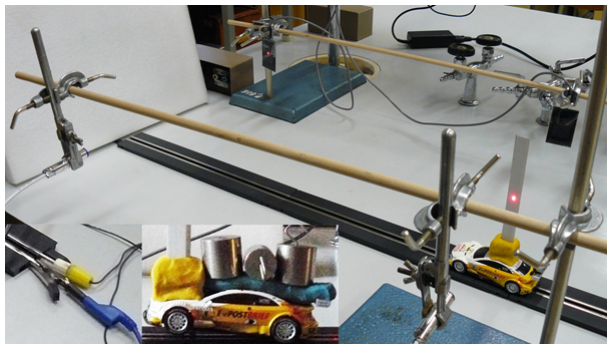
Obr. 1 Autíčko s kartonovým přerušovačem – ověření 2. Newtonova zákona

Pohybuje-li se autíčko se zrychlením, můžeme ve dvou různých okamžicích zaznamenat dvěma optickými branami (stereogatem) průchod papírového přerušovače. Pomocí jeho konstantní šířky pak můžeme vypočítat hodnoty okamžité rychlosti v_1 , v_2 autíčka při průchodu první, resp. druhou optickou branou z jednoduchého vztahu $v_n = d/t_n$, kde d je šířka přerušovače (v našem případě $d = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$), t_n je čas, za který přerušovač projde n -tým monogatem.

K provedení experimentu budeme potřebovat následující pomůcky: dvě optické brány, laboratorní zdroj napětí, papírový přerušovač, 4 ks rovinky autodráhy o délce 30 cm, autíčko autodráhy o hmotnosti 92 g (včetně modelíny a papírového přerušovače), modelína, několik závaží 50 g a 100 g, stativový materiál, tlumící deska.

Experimentální provedení

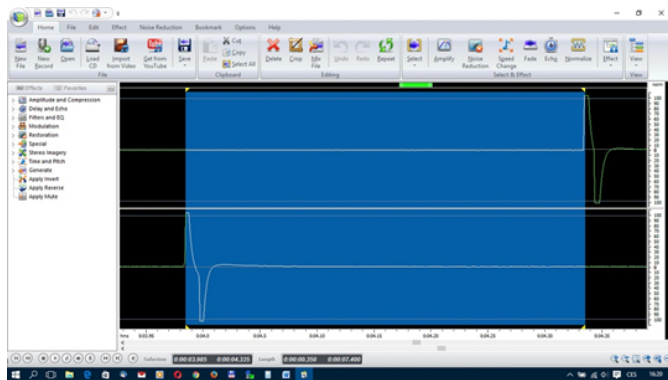
Uspořádání experimentu je na obr. 2. V levé dolní části obrázku je detail připojení napájecího napětí pomocí krokosvorky a upraveného banánku a detail upevnění přídatných závaží pomocí modelíny. Jednotlivé díly autodráhy propojíme do roviny o délce 120 cm, kterou připojíme pomocí vodičů k laboratornímu zdroji napětí. Na autíčko upevníme pomocí modelíny papírový přerušovač a za dojezdový díl autodráhy umístíme tlumící destičku z molitanu nebo podobného materiálu, která zabrání případnému poškození autíčka. Stereogate připojíme na mikrofonní vstup počítače.



Obr. 2 Uspořádání experimentu

Při ověřování závislosti zrychlení na působící síle použijeme autíčko bez přídatného závaží a měníme pouze velikost napájecího napětí v rozmezí 6 V – 12 V. Autíčko pouštíme stále ze stejné pozice a necháme ho projet

oběma optickými branami. Pomocí programu Free Audio Editor (FAE) určíme časy průchodu papírového přerušovače prvním a druhým monogatem, ze kterých určíme hodnoty okamžitých rychlostí v_1 a v_2 . Dále ve FAE změříme celkový čas Δt průchodu autíčka mezi prvním a druhým fotogatem (obr. 3) a nakonec vypočítáme hodnotu zrychlení ze vztahu $a = \Delta v / \Delta t$, kde $\Delta v = v_2 - v_1$. Naměřené hodnoty zapíšeme do tabulky a na závěr vytvoříme graf závislosti zrychlení autíčka na napájecím napětí, které je přímo úměrné síle působící na autíčko.

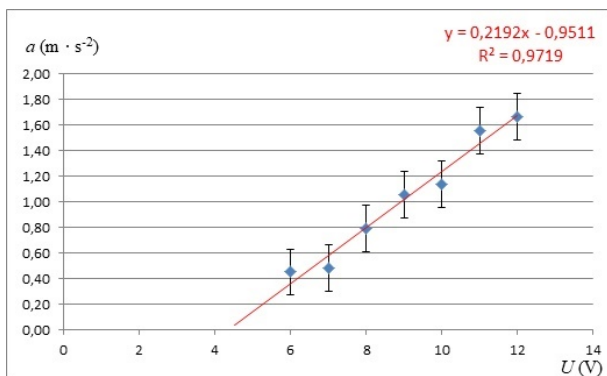


Obr. 3 Náhled signálu ve FAE

Námi naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1 a grafická závislost zrychlení na působící síle je na obr. 4.

Tabulka 1 Měření zrychlení autíčka v závislosti na působící síle (napájecím napětí)

$\frac{U}{V}$	$\frac{t_1}{s}$	$\frac{t_2}{s}$	$\frac{v_1}{m \cdot s^{-1}}$	$\frac{v_2}{m \cdot s^{-1}}$	$\frac{\Delta v}{m \cdot s^{-1}}$	$\frac{\Delta t}{s}$	$\frac{a}{m \cdot s^{-2}}$
6	0,016	0,012	0,625	0,833	0,21	0,461	0,45
7	0,014	0,011	0,714	0,909	0,19	0,400	0,49
8	0,012	0,009	0,833	1,111	0,28	0,350	0,79
9	0,011	0,008	0,909	1,250	0,34	0,323	1,06
10	0,011	0,008	0,909	1,250	0,34	0,300	1,14
11	0,010	0,007	1,000	1,429	0,43	0,275	1,56
12	0,009	0,007	1,111	1,538	0,43	0,256	1,67



Obr. 4 Graf závislosti zrychlení autíčka na působící síle (napájecím napětí)

Ve druhé části experimentu ponecháme konstantní velikost napájecího napětí a zvyšujeme velikost hmotnosti autíčka přidáváním závaží na autíčko. Opět určíme pro každou hmotnost autíčka jeho zrychlení a sestrojíme graf závislosti zrychlení na hmotnosti autíčka.

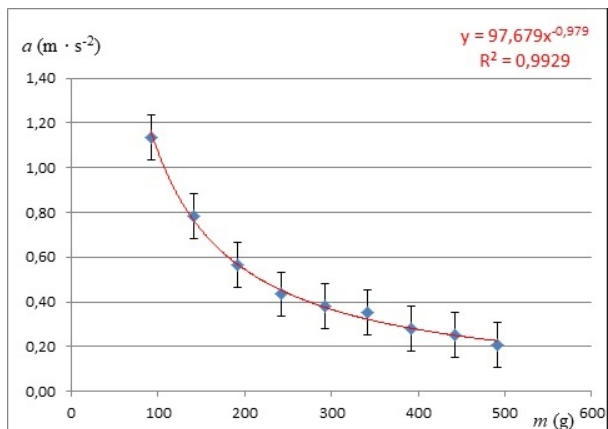
Námi naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2 a grafická závislost zrychlení na hmotnosti vozíku pro napájecí napětí $U = 10 \text{ V}$ je na obr. 5.

Tabulka 2 Měření zrychlení autíčka v závislosti na jeho hmotnosti pro $U = 10 \text{ V}$

$\frac{m}{\text{g}}$	$\frac{t_1}{\text{s}}$	$\frac{t_2}{\text{s}}$	$\frac{v_1}{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$	$\frac{v_2}{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$	$\frac{\Delta v}{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$	$\frac{\Delta t}{\text{s}}$	$\frac{a}{\text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$
92	0,011	0,008	0,909	1,250	0,34	0,300	1,14
142	0,014	0,010	0,714	1,000	0,29	0,364	0,78
192	0,015	0,011	0,667	0,909	0,24	0,428	0,57
242	0,018	0,013	0,556	0,769	0,21	0,492	0,43
292	0,019	0,014	0,526	0,714	0,19	0,495	0,38
342	0,022	0,015	0,455	0,667	0,21	0,600	0,35
392	0,025	0,017	0,400	0,588	0,19	0,670	0,28
442	0,026	0,018	0,385	0,556	0,17	0,671	0,25
492	0,027	0,019	0,370	0,526	0,16	0,742	0,21

Z grafu lineární regresní funkce na obr. 4, která je vyznačena červenou barvou, je dobře vidět lineární závislost zrychlení na působící síle. Stejně tak na obr. 5 je dobře pozorovatelná hyperbolická křivka nepřímé

úměrnosti mezi zrychlením a hmotností autíčka. Hodnota exponentu této regresní křivky je $-0,979 \doteq -1$, což odpovídá vztahu (2).



Obr. 5 Graf závislosti zrychlení autíčka na jeho hmotnosti

V článku jsme se zabývali inovací experimentálního ověření zákona síly, při kterém jsme k demonstraci využili pro žáky atraktivní pomůcky jako je autodráha a počítač.

Pomocí dvou optických bran sestavených z laserového ukazovátka a solárního článku jsme zaznamenali průchod autíčka a v programu FAE určili časy průchodu jednotlivými branami i celkový čas pohybu.

Experimentálně naměřené hodnoty potvrdily jak lineární závislost zrychlení na působící tažné síle, tak hyperbolický pokles zrychlení v závislosti na hmotnosti autíčka.

Závěrem lze konstatovat, že demonstrace druhého Newtonova zákona pomocí výše uvedených jednoduchých pomůcek umožňuje žákům rychlé pochopení probírané látky a učitelům fyziky snadnou demonstraci tohoto zákona, než provedení klasickým způsobem pomocí vzduchové nebo vozíčkové dráhy. Současné využití ICT při této demonstraci posiluje také mezipředmětové vazby a zvyšuje pro žáky atraktivitu demonstračního experimentu.

Literatura

- [1] Horáková, R.: Pohyb soustavy těles spojených vláknem. Studijní text pro řešitele FO, (2014) [online]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/pohyb.pdf>