

## SCLPX – 11 – 1R – Zákon zachování mechanické energie

### Klasické provedení a didaktické aspekty pokusu

Zákony zachování mají ve fyzice významné postavení. V učivu mechaniky se na střední škole věnuje pozornost zákonu zachování hybnosti a zákonu zachování energie viz [30], str. 63 – 66. Oba platí pouze v izolované soustavě těles.

Na jeho přesném pochopení pak závisí pochopení řady jevů a dějů v dalších částech fyziky (kmitání tělesa na pružině, matematické kyvadlo, urychlování elektronů v telení obrazovce, základy speciální teorie relativity,...). Ačkoliv v uvedených příkladech vystupují různé druhy energie (mechanická, energie elektrického pole,...), základní pochopení tohoto důležitého zákona lze žákům přiblížit na mechanických energiích. Navíc při výkladu mechaniky lze s žáky diskutovat i o rozdílu zákona zachování energie a zákona zachování mechanické energie [i18].

Zákon zachování mechanické energie se klasickým způsobem objasňuje na volně padajícím tělese, u kterého se pro dané hodnoty času počítají hodnoty potenciální a kinetické energie, které sečteme a z výsledku dojdeme k závěru, že celková mechanická energie tělesa daná součtem potenciální a kinetické energie se během pohybu nemění, tj. zůstává konstantní.

Experiment založený na vzájemné přeměně potenciální energie na kinetickou je proveden pomocí kyvadla a kuličky postavené na okraji stolu. Vychýlením kyvadla do výšky  $h$  nad desku stolu získá kulička č. 1 potenciální energii. Pustíme-li kyvadlo, mění se potenciální energie na kinetickou, která nabude své maximální hodnoty v okamžiku průchodu kyvadla tvořeného kuličkou č. 1 rovnovážnou polohou. Ve stejném okamžiku ovšem kulička č. 1 narazí do kuličky č. 2, která leží na okraji stolu, a udělí jí nenulovou počáteční rychlost. Kulička č. 2 tedy vykoná vodorovný vrh a dopadne na papír, nad kterým je uhlový papír (tzv. kopírák), který tak vytvoří v místě dopadu kuličky na papíru otisk.

Ze změřené vzdálenosti dopadu  $d$  vypočítáme z následujícího vztahu

$$d = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (5)$$

počáteční rychlost  $v_0$ , přičemž  $H$  je výška kuličky č. 2 nad zemí a  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Tu potom srovnáme s teoreticky vypočtenou rychlostí  $v_{max}$ ,

$$v_{max} = \sqrt{2gh} \quad (6)$$

která plyne ze zákona zachování mechanické energie při přeměně potenciální energie na kinetickou.

## SCLPX – 11 – 1R – Zákon zachování mechanické energie

### SCLPX – 05

Pomůcky: zvuková karta, laserové ukazovátko, laboratorní stojan, provázek, dva kovové válečky, fotografická miska, mouka nebo mletá káva, mikrofon.

Postup práce: pokus uspořádáme podle situace na obr. 30. Z jednoho kovového válečku a provázku vytvoříme kyvadlo, fotografickou misku, jejíž dno posypeme moukou nebo mletou kávou, umístíme po několika předchozích zkouškách „nanečisto“ na zem v místě předpokládaného dopadu druhého válečku. Váleček, který koná vodorovný vrh, umístíme do takové vzdálenosti od válečku tvořícího kyvadlo, aby ke vzájemnému nárazu došlo v okamžiku, kdy celý váleček zavěšený na provázku projde optickou závorou. Mikrofon zapojíme do série s fotodiodou, protože potřebujeme současně měřit signál z optické závory i mikrofonu, kterým zaznamenejeme okamžik nárazu jednoho válečku do druhého a vzápětí dopad druhého válečku do misky s moukou nebo kávou.



Obr. 30 Uspořádání experimentu – zákon zachování mechanické energie

Spustíme program Free Audio Editor, vychýlíme kyvadlo do předem známé výšky  $h$  a pustíme. Kyvadlo narazí do druhého válečku, kterému předá veškerou svoji kinetickou energii, a udělí druhému válečku počáteční rychlost  $v_0$ . Ten po vykonaném vodorovném vrhu dopadne ve vzdálenosti  $d$  od hrany stolu do misky s moukou (my jsme použili mletou kávu), viz obr. 31.

### SCLPX – 11 – 1R – Zákon zachování mechanické energie

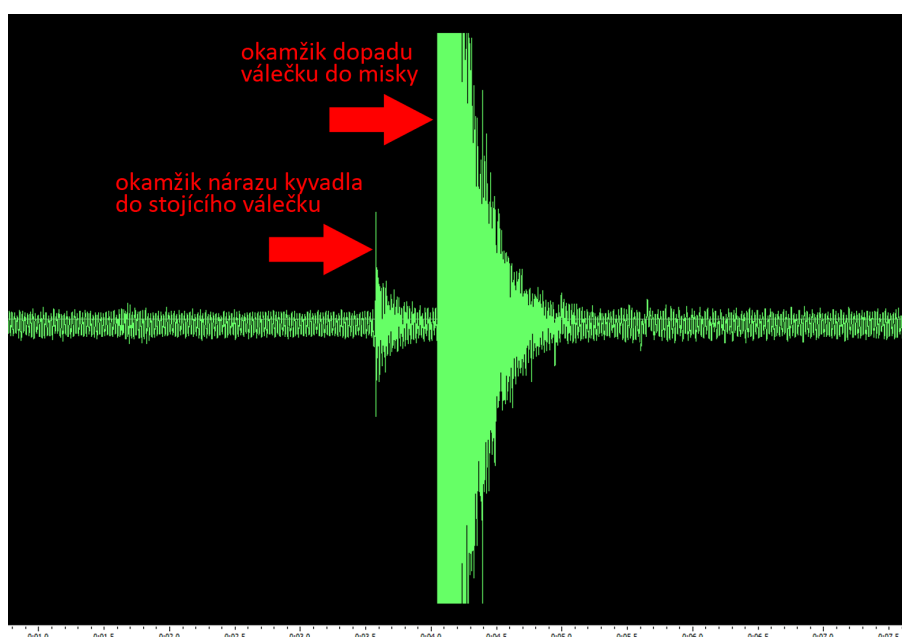


Obr. 31 Dopadová stopa válečku do misky s kávou (moukou)

Po dopadu válečku změříme vzdálenost středu stopy od okraje stolu a ze vztahu (5) určíme hodnotu počáteční rychlosti  $v_0$ .

Maximální rychlost  $v_{\max}$  tentokrát nebudeme počítat teoreticky ze vztahu (6), ale určíme ji z doby průchodu válečku kyvadla optickou závorou. Průměr námi použitého válečku byl  $s = 2$  cm. Náhled signálu zaznamenaného při experimentu vidíme na obr. 32.

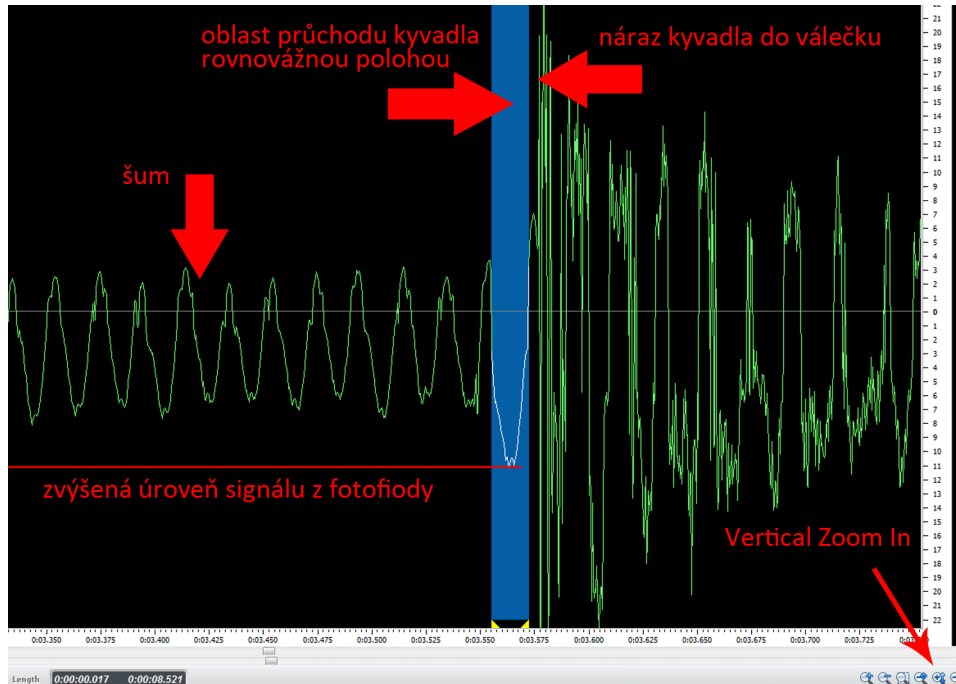
#### Náhled signálu:



Obr. 32 Záznam signálu

SCLPX – 11 – 1R – Zákon zachování mechanické energie

Protože potřebujeme určit okamžitou rychlost pomocí časového intervalu  $\Delta t_1$  odečteného z grafu a šířky válečku při průchodu kyvadla rovnovážnou polohou, musíme softwarově zvětšit oblast prvotního nárazu kyvadla do stojícího válečku, viz obr 33.



Obr. 33 Zvětšení části signálu a jeho rozbor

Pomocí myši nejprve vybereme část signálu v okolí nárazu kyvadla do stojícího válečku (spodní červená šipka na obr. 3) a pak pomocí tlačítka *Vertical Zoom In* (ikona lupy se znaménkem plus a vertikální modrou šipkou) softwarově vertikálně zvětšíme signál. Tím zvětšíme jednotlivé úrovně signálu a můžeme rozlišit průchod kyvadla optickou závorou od šumu na pozadí, viz obr. 33.

Následující tabulka udává naměřené hodnoty z průběhu experimentu pro  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  a  $H = 1,03 \text{ m}$ .

Tabulka 2 – Zákon zachování mechanické energie

Č. měř.	$h$ (m)	$d$ (m)	teoret. $v_{\max}$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$\Delta t_1$ (s) opt.z.	exp. $v_{\max}$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$v_0$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) vzorec (5)	$\Delta t_2$ (s) mikrofon	$v_{02}$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) mikrofon
1	0,300	0,410	2,43	0,220	0,91	0,89	0,465	0,88
2	0,400	0,655	2,80	0,014	1,43	1,43	0,464	1,41
3	0,300	0,430	2,43	0,017	1,18	0,94	0,468	0,92
4	0,350	0,520	2,62	0,019	1,05	1,14	0,471	1,10
5	0,350	0,505	2,62	0,015	1,33	1,10	0,467	1,08

## SCLPX – 11 – 1R – Zákon zachování mechanické energie

Hodnotu počáteční rychlosti  $v_{01}$  vodorovného vrhu můžeme vypočítat buď ze vzorce (5) nebo z podílu délky dopadu  $d$  a časového intervalu  $\Delta t_2$ , který odpovídá době mezi nárazem kyvadla do válečku a dopadem válečku do misky (poslední sloupec tabulky).

Didaktické poznámky: pokud zapojíme např. fotodiodu do mikrofonního vstupu a mikrofon do line-in vstupu zvukové karty nebo naopak, díky tomu, že vstupní úroveň signálu na obou vstupech je velmi rozdílná (mikrofonní vstup je na rozdíl od line-in vstupu zesílen), nelze ani při softwarovém zvětšení signálu spolehlivě určit co je šum a co je signál na line-in vstupu. Stejný výsledek obdržíme i při použití redukce, viz experiment SCLPX-4. Je to dáno velmi rozdílným vnitřním odporem elektretového mikrofonu a fotodiody. Proto musíme použít zapojení do série a i v tomto případě musíme žáky upozornit na možné problémy při odečtu hodnot zaznamenaného signálu.

Odečtení časového intervalu průchodu válečku rovnovážnou polohou je v případě tohoto experimentu nejtěžší úkol, protože signál z fotodiody je oproti signálu z mikrofonu značně slabší.

Z naměřených hodnot vyplývá zajímavá skutečnost: velký rozdíl teoreticky vypočítané rychlosti  $v_{\max}$  ze vzorce (6) oproti experimentálně určené hodnotě pomocí optické závory. Experimentálně zjištěné hodnoty jsou v průměru 2 krát menší než teoretické, jak plyne ze srovnání hodnot ve čtvrtém a šestém sloupci tabulky 2. Můžeme tedy opět studenty vyzvat k odpovědi na problémovou otázku, čím je tento významný rozdíl způsoben (nepřesnost odečtu vzdálenosti  $d$ , přeměna určité energie na teplo během nárazu, ztráty vlivem tření, apod.).

Naproti tomu hodnoty počáteční rychlosti  $v_0$ , určené dvěma různými způsoby, můžeme v rámci chyby měření považovat za stejné.

Srovnáním hodnot ze šestého a sedmého nebo devátého sloupce tabulky 2 vyplývá, že v rámci chyby měření spadají průměrné hodnoty do stejného intervalu, a tudíž platí nejen zákon zachování energie, ale i zákon zachování hybnosti.

### **Srovnání se soupravou ISES a klasickou metodou**

Srovnání s klasickou metodou vyznívá z našeho pohledu jednoznačně ve prospěch použití zvukové karty. Nehledě k dnes již nevhodnému používání uhlového papíru (kopíráku) je stanovení okamžité rychlosti kuličky nebo válečku při průchodu rovnovážnou polohou pomocí optické závory efektivnější a přesnější.

## SCLPX – 11 – 1R – Zákon zachování mechanické energie

### **Zařazení experimentu ve výuce**

Experiment doporučujeme zařadit v rámci laboratorních prací, zejména pro jeho časovou náročnost samotného provedení a náročnou práci při úpravě a vyhodnocení signálu. Z pohledu didaktické funkce bychom ho zařadili mezi pokusy prohlubující probíranou látku. Vzhledem k tomu, že při vypracování experimentu žáci musí používat vztahy popisující vodorovný vrh, je nutné tento experiment zařadit až po probrání tematického celku *Pohyby těles v homogenním tíhovém poli Země*.