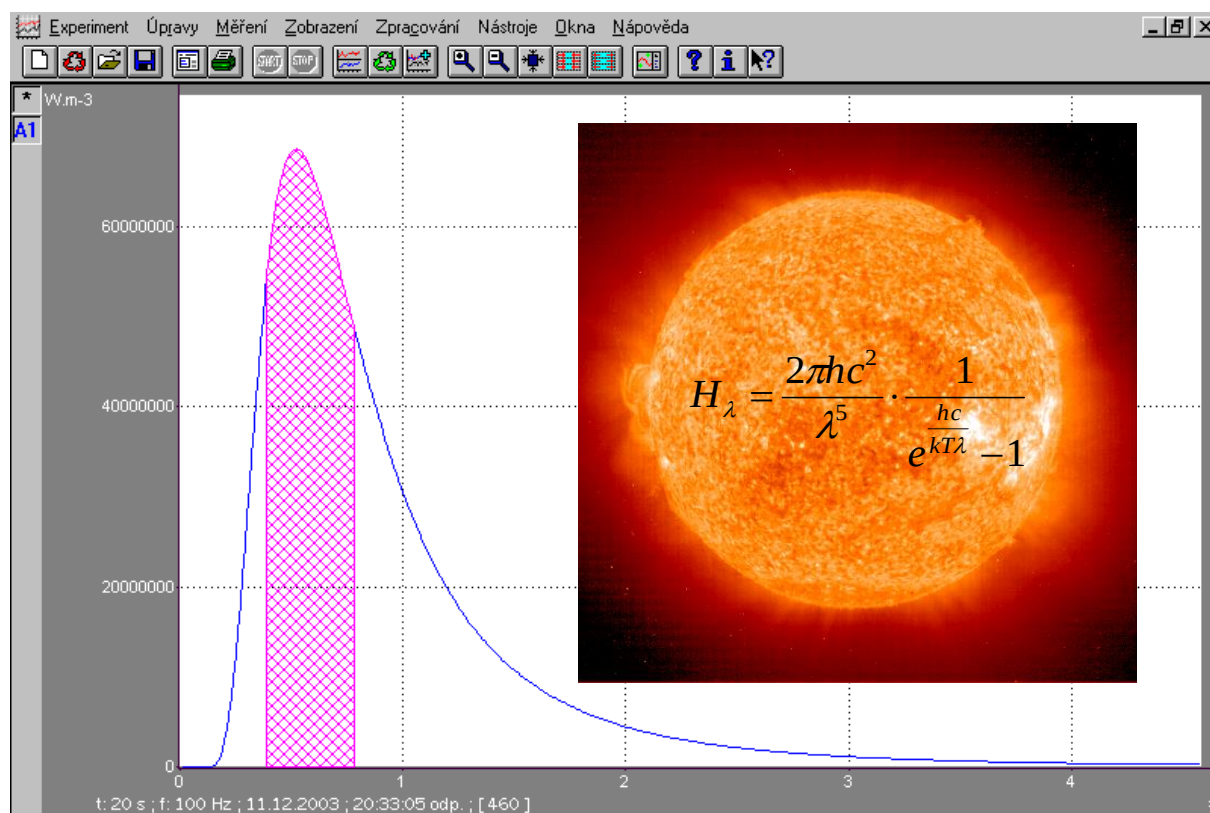


LABORATORNÍ PRÁCE

MĚŘENÉ SOUPRAVOU ISES

mechanika, záření, komplexní úlohy
pro vyšší i nižší gymnázium



RNDr. Vladimír Vícha
Gymnázium Dašická 1083, Pardubice

Vydal:

**RNDr. František Lustig, PC-IN/OUT
Učební pomůcky PC-IN/OUT, U Druhé Baterie 29, 162 00 Praha 6**

© 2003, 2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014

Obsah

Název:	Strana:
Úvod: Koncepce laboratorních prací a pracovní fyziky	5
1. Kulička na nakloněné rovině – nižší gymnázium	6
2. Kulička na nakloněné rovině – vyšší gymnázium	9
3. Volný pád - nižší gymnázium	14
4. Volný pád - vyšší gymnázium	17
5. Otáčivý pohyb vrtule – nižší gymnázium	24
6. Vrtule a monitor - vyšší gymnázium	27
7. Tažná síla vrtule - vyšší gymnázium	32
8. Záření černého tělesa - vyšší gymnázium	37
Přílohy: A. Tvorba pomůcek	42
B. Popis systému ISES	44

Úvod

Koncepce počítačem podporovaných laboratorních prací

Laboratorní práce podle této příručky se měří na Gymnáziu Pardubice v pracovních fyziky. Učebna je vybavena jedenácti studentskými a jedním učitelským počítačem. Byla vybavena v roce 1999 a počítače v té době patřily k dobrému standardu: CELERON 360 MHz, RAM 80 MB, HDD 3 GB, síťová karta, vzájemné propojení. Proti nežádoucím zásahům studentů jsou chráněny systémem SODAT. V každém počítači je karta ISES standard, měřicím programem je ISES-WIN. Pro každé pracoviště jsou k dispozici měřicí moduly, které se zasouvají do základního panelu. Parametry počítačů jsou pro fyzikální měření plně postačující i dnes.

Každé laboratorní práci je vyhrazena samostatná část v prosklené uzamykatelné skříni. Pro každou pracovní skupinu jsou zde pomůcky a písemný návod odpovídající této příručce. Studenti pochopitelně nemají k dispozici výsledky úloh. Vypracovaný protokol (ručně nebo počítačově zpracovaný) odevzdává každý student zpravidla do týdne od data měření úlohy. V učebně je k dispozici i tiskárna a na počítačích je nainstalován Word a Excel.

Měření laboratorních prací pomocí počítačem podporovaných prostředků jako jsou měřicí systémy, vyhodnocovací programy, ale i standardní „office“ programy přinášejí do laboratorních úloh efektivitu, objektivitu, přesnost, pečlivost aj. Student na počítači nejenom měří a zpracovává experiment, ale často i vypracovává protokol.

Se systémem ISES se studenti seznamují při demonstračních pokusech, frontálních a laboratorních pracích. Například ve 3. ročníku čtyřletého studia měří na počítačích všechny třídy úlohy z elektřiny a magnetismu (jsou popsány v předchozí příručce: „LABORATORNÍ PRÁCE K UČEBNÍCI ELEKTŘINA A MAGNETISMUS MĚŘENÉ SOUPRAVOU ISES“, obsahující 13 úloh).

Úlohy této příručky jsou určeny pro další ročníky, tentokrát i víceletého gymnázia. Všechny úlohy lze naměřit během jedné vyučovací hodiny. Na úvod je vhodné provést ukázkou měření na jednom počítači a pak již studenti postupují podle napsaných návodů. Učitel je jen rádcem a koordinátorem.

Kulička na nakloněné rovině

Pomůcky: nakloněná rovina, ocelová kulička, počítač, ISES, modul optická závora

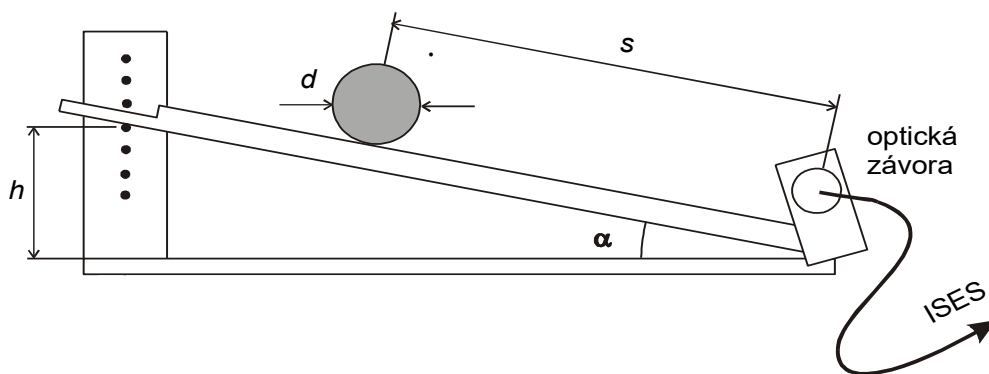
Úkoly:

- 1) Zjistěte, jak závisí rychlost v kuličky valící se po nakloněné rovině na dráze s ($s = 0,10$ m až $0,50$ m).
- 2) Nakreslete do jednoho obrázku grafy *Závislost rychlosti na dráze* pro výšky $h = 0,10$ m a $h = 0,05$ m. Proložte vhodné křivky.

Výklad:

Kulička, která vstoupí do optické závory, způsobí její zatmění do té doby než se posune o svůj průměr $d = 0,026$ m. Čas zatmění t lze určit z monitoru. Průměrnou rychlost kuličky pak vypočteme ze vztahu

$$v = \frac{d}{t}$$



Vypracování:

h/m	s/m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
0,10	t/s	...	...	...	...	...
	$v/ m/s$	...	...	...	...	...
0,05	t/s	...	...	...	...	...
	$v/ m/s$	...	...	...	...	...

Závěr:

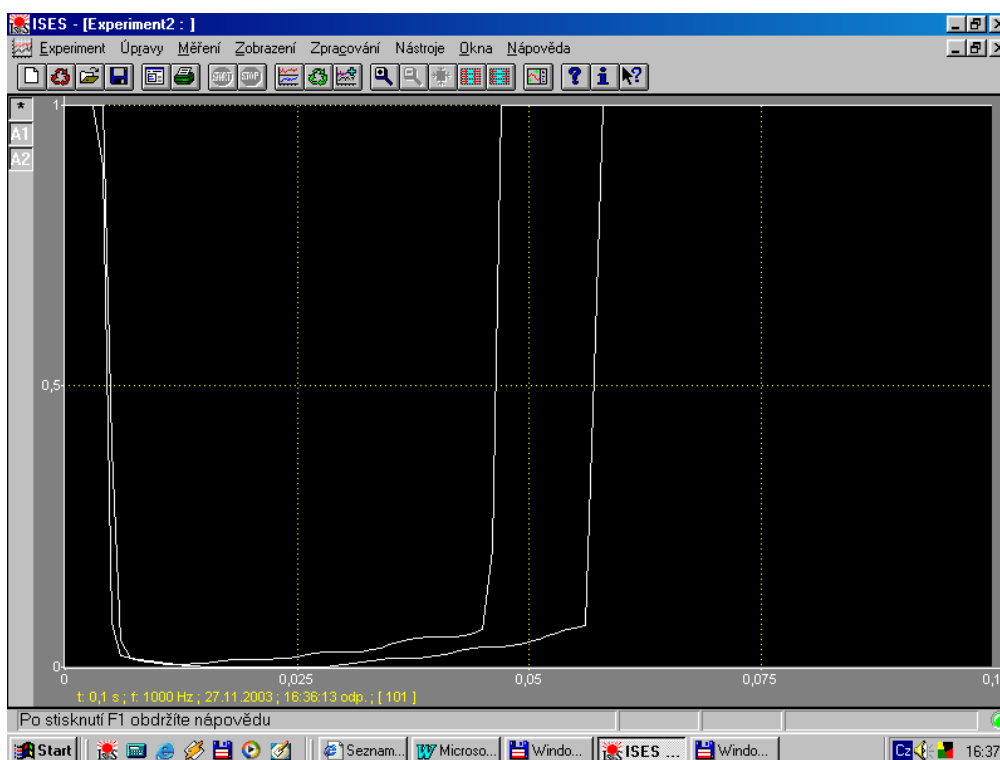
Z grafu odpovězte na následující otázky:

1. Jak se mění rychlost v kuličky, jestliže dráha s se zvětšuje a výška h nakloněné roviny zůstává stálá?
2. Jak se mění rychlost v kuličky, je-li dráha s stejná a výška h nakloněné roviny se zmenší?
3. Z grafů se snažte přestat, jaká by byla rychlost kuličky při výšce nakloněné roviny $h = 10$ cm a drahách $s = 0,25$ m; $0,45$ m; $0,60$ m.
4. Z grafů se snažte přestat, jakou dráhu musí urazit kulička na nakloněné rovině o výšce $h = 10$ cm, aby získala rychlost $0,90$ m/s.
5. Prohlédněte si pozorně tabulku a graf. Napadají vás ještě nějaké fyzikální závěry?

Provedení:

Optickou závoru připojíme do kanálu A, výšku nakloněné roviny nastavíme na 10 cm. Spustíme ISES a založíme nový experiment.

Nastavení: doba měření 0,1 s, vzorkování 1000 Hz, start trigger kanál A, hladina 0,5, pretrigger 5%, sestupná hrana.  Stiskneme **OK**. Na obrazovce je připravené okno s časovou osou nastavenou na 0,1 s, graf se zatím nevykresluje. Na liště v pravém dolním rohu vidíme nápis „**trigger(A;0,5;5%)**“, který znamená, že počítač čeká s měřením, až nastane zatmění závory. Spustíme kuličku z bodu vzdáleného 10 cm od optické závory. Počítač zachytí zatmění.



Klikneme na ikonu „**přidat měření**“



a pustíme kuličku z dráhy 20 cm. Do stejného okna se vykreslí druhé, kratší zatmění. Tak pokračujeme až do dráhy 50 cm.

Nyní pomocí „**zpracování měření**“



a nástroje „**odečet rozdílů**“



určíme v polovině hloubky zatmění všechny časy t (první sloupec v okně vpravo) a z nich vypočteme rychlost v pro tabulku. Správné zaokrouhlení čísel udává počet teček v tabulce.

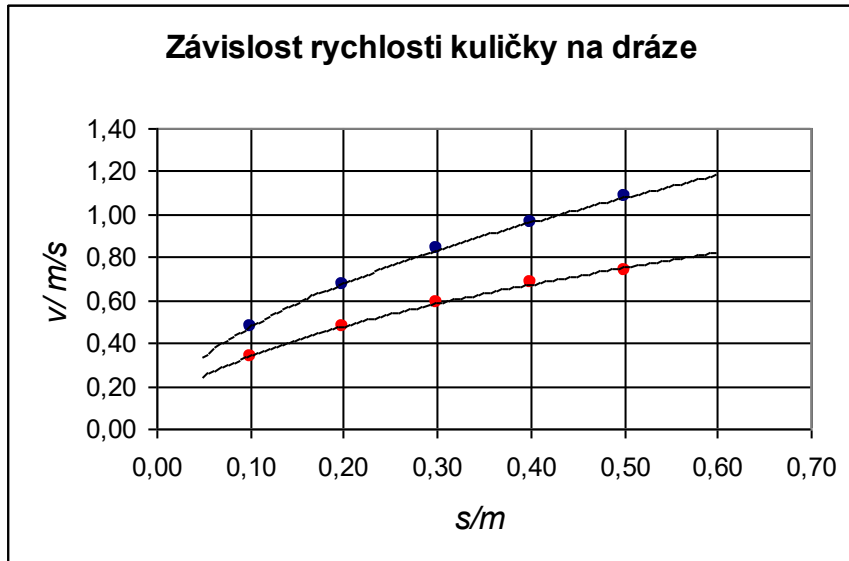
Snížíme výšku h na 5 cm, červenými šipkami  nahradíme experiment a stiskneme **OK**. Proměříme při této výšce opět dráhy 10 cm až 50 cm.



nahradíme experiment a stiskneme **OK**.

Výsledky

h/m	s/m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
0,10	t/s	0,054	0,039	0,031	0,027	0,024
	$v/ m/s$	0,48	0,67	0,84	0,96	1,08
0,05	t/s	0,076	0,054	0,044	0,038	0,035
	$v/ m/s$	0,34	0,48	0,59	0,68	0,74



Závěr:

- Jestliže výška h nakloněné roviny zůstává stálá a zvětšuje se dráha s , rychlost v kuličky roste.
- Jestliže je dráha s stejná a výška nakloněné roviny h se zmenší, rychlost v kuličky klesne.
- Výška nakloněné roviny $h = 0,10$ m.
po uběhnutí dráhy 0,25 m je rychlost kuličky 0,75 m/s
po uběhnutí dráhy 0,45 m je rychlost kuličky 1,03 m/s
po uběhnutí dráhy 0,60 m je rychlost kuličky 1,17 m/s

- Výška nakloněné roviny $h = 0,10$ m

Aby kulička získala rychlost 0,90 m/s, musí po nakloněné rovině urazit dráhu 0,35 m.

- Z tabulky i grafu je např. vidět, že při zmenšení výšky nakloněné roviny na polovinu se rychlost při stejné dráze nezmenší na polovinu, ale je o něco větší než polovina.

Jestliže dráhu kuličky při jedné výšce nakloněné roviny zvětšíme dvakrát, rychlost se nezvětší dvakrát, ale je to méně než dvakrát.

Oba grafy zřejmě míří do počátku os. Je to logické, protože při nulové dráze bude mít kulička nulovou rychlost, ať je výška nakloněné roviny jakákoli.

Kulička na nakloněné rovině

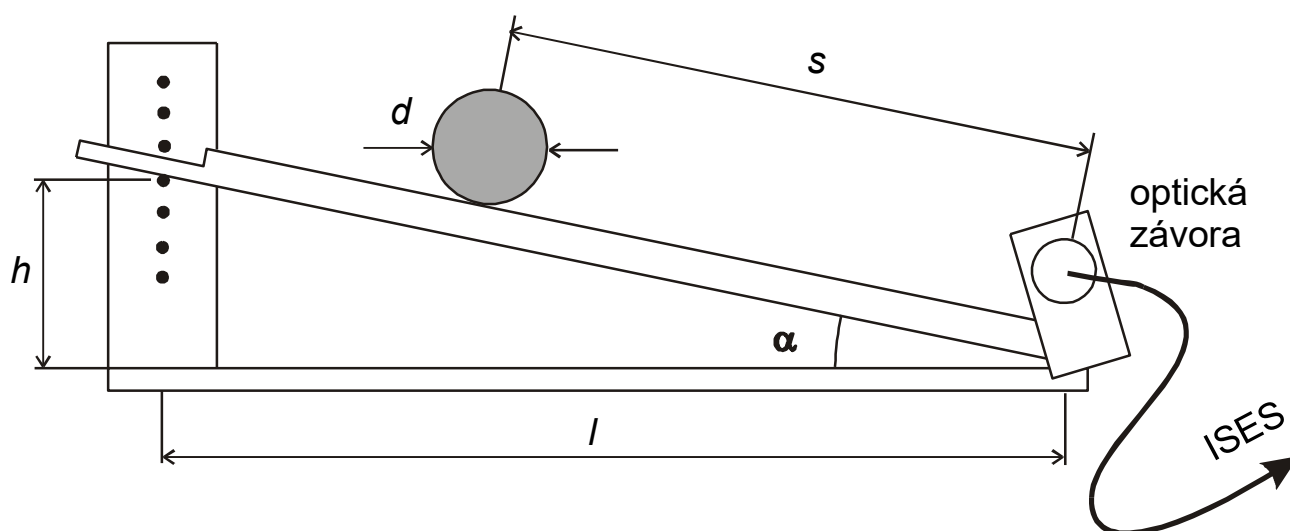
Pomůcky: nakloněná rovina, ocelová kulička, počítač, ISES, modul optická závora.

Úkoly:

- 1) Proměřit, jak závisí rychlost kuličky valící se po nakloněné rovině na dráze. Provést pro výšky 10 cm až 4 cm. Určit zrychlení kuličky pro jednotlivé úhly nakloněné roviny.
- 2) Pro výšky 10 cm, 8 cm a 6 cm sestavit do jednoho obrázku grafy: *Závislost rychlosti kuličky na dráze*.
- 3) Sestavit graf: *Závislost zrychlení na $g \cdot \sin \alpha$* .

Teorie:

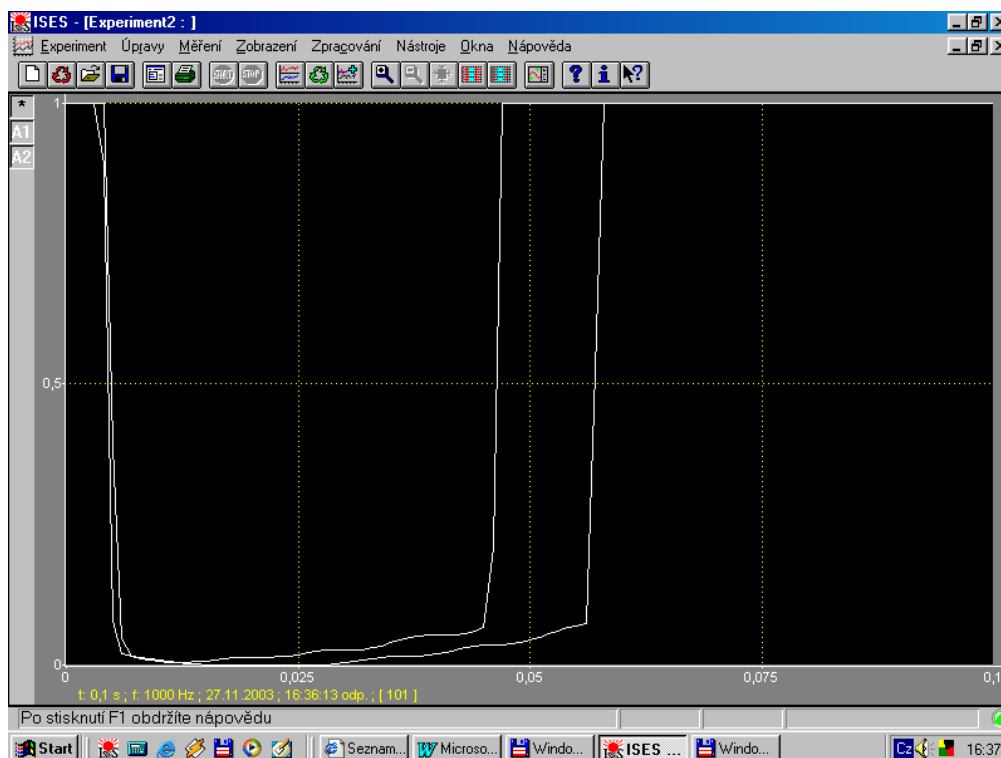
Pro rovnoměrně zrychlený pohyb začínající z klidu platí $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$, kde s je dráha kuličky na nakloněné rovině, a je zrychlení a v je okamžitá rychlost. Okamžitou rychlost lze přibližně určit ze vztahu $v = \frac{d}{\Delta t}$, neboť Δt je velmi malý čas (setiny sekundy). Veličina $d = 0,026$ m je průměr kuličky.



Provedení:

1. úkol: Optickou závoru připojíme do kanálu A, výšku nakloněné roviny nastavíme na 10 cm. Spustíme ISES a založíme nový experiment.

Nastavení: doba měření 0,1 s, vzorkování 1000 Hz, start trigger kanál A, hladina 0,5, pretrigger 5%, sestupná hrana.  Stiskneme OK. Na obrazovce je připravené okno s časovou osou nastavenou na 0,1 s, graf se zatím nevysvětluje. Na liště v pravém dolním rohu vidíme nápis „trigger(A;0,5;5%)“, který znamená, že počítač čeká s měřením, až nastane zatmění závory. Spustíme kuličku z bodu vzdáleného 10 cm od optické závory. Počítač zachytí zatmění.



Klikneme na ikonu „**přidat měření**“  a pustíme kuličku ze značky 20 cm. Do stejného okna se vykreslí druhý, kratší, impuls. Pokračujeme až do dráhy 50 cm.

Nyní pomocí „**zpracování měření**“  a nástroje „**odečet rozdílu**“  rčíme v polovině hloubky impulsů všechny časy Δt (první sloupec v okně vpravo) a z nich vypočteme rychlost v pro tabulku č. 1.

Snížíme výšku h na 9 cm, červenými šipkami  nahradíme experiment a proměříme při tomto sklonu opět dráhy 10 cm až 50 cm. Dále snižujeme úhel až do výšky 4 cm.

Vypočteme také velikosti úhlu α nakloněné roviny a další údaje pro tabulku č. 1.

2. úkol: Pro vybrané výšky $h = 10$ cm, $h = 8$ cm, $h = 6$ cm sestrojíme do jednoho grafu tři křivky: *Závislost rychlosti kuličky na dráze*. Výhodně lze využít excel – graf XY-bodový a přidat spojnicí trendu.

3. úkol: Sestrojíme graf: *Závislost zrychlení na $g \cdot \sin \alpha$* . Lze využít excel (pozor-úhly pro funkci sinus je třeba zadávat v radiánech).

Protokol

Název: Kulička na nakloněné rovině

Pomůcky:

Vypracování:

1) *Tabulka. č. 1 - Závislost rychlosti kuličky na dráze*

$$d = 0,026 \text{ m}, \quad l = 0,58 \text{ m}$$

h/m	α/rad	s/m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	průměrné zrychlení m.s^{-2}
0,100	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	
0,090	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	
0,080	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	
0,070	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	
0,060	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	
0,050	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	
0,040	...	$\Delta t/\text{s}$	...	...	...	...	...	...
		$v/\text{m.s}^{-1}$	...	...	...	...	...	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	...	...	...	...	...	

2), 3)

Graf č. 1 – Závislost rychlosti v kuličky na dráze s

Tabulka. č. 2 - Závislost zrychlení a na $g.\sin\alpha$

α/rad	$g.\sin\alpha$	$a/\text{m.s}^{-2}$
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

Graf č. 2 – Závislost zrychlení a na $g.\sin\alpha$

Závěr: Vyhodnotíme, jak závisí rychlost kuličky na dráze, jak vychází zrychlení pro jeden úhel a pro různé úhly nakloněné roviny.

Kulička na nakloněné rovině – vyšší gymnázium

Výsledky

Název: Kulička na nakloněné rovině

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

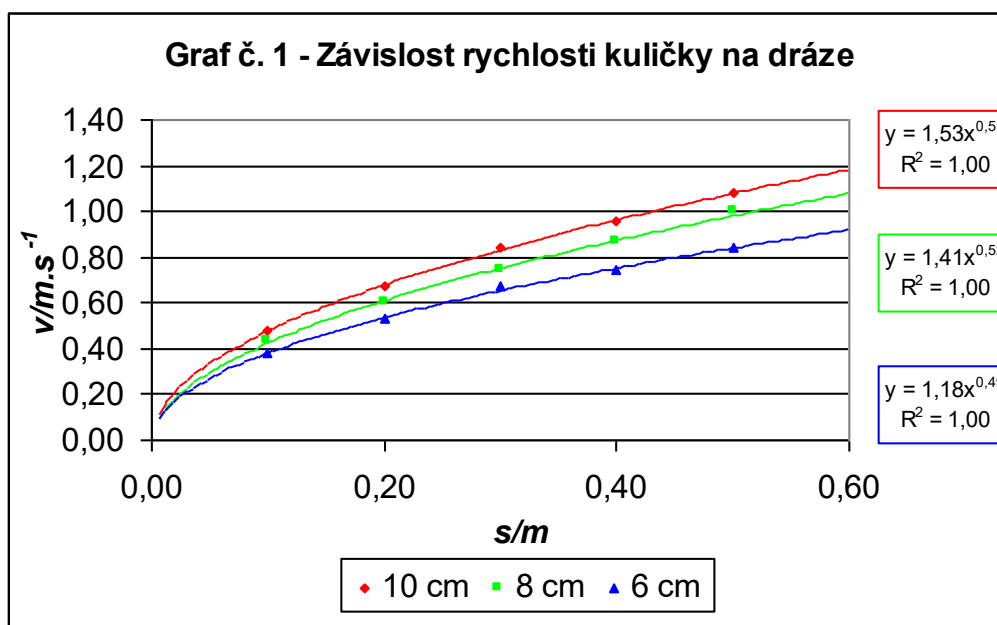
1)

Tabulka. č. 1 - Závislost rychlosti kuličky na dráze

$d = 0,026 \text{ m}$, $l = 0,58 \text{ m}$

h/m	α/rad	s/m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	průměrné zrychlení
0,100	0,1707	$\Delta t/\text{s}$	0,054	0,039	0,031	0,027	0,024	$a/\text{m.s}^{-2}$ 1,15
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,48	0,67	0,84	0,96	1,08	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	1,15	1,12	1,18	1,15	1,17	
0,090	0,1539	$\Delta t/\text{s}$	0,057	0,041	0,033	0,029	0,026	1,02
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,46	0,63	0,79	0,90	1,00	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	1,06	0,99	1,04	1,01	1,00	
0,080	0,1371	$\Delta t/\text{s}$	0,060	0,043	0,035	0,030	0,026	0,94
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,43	0,60	0,74	0,87	1,00	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	0,92	0,90	0,91	0,95	1,00	
0,070	0,1201	$\Delta t/\text{s}$	0,065	0,046	0,037	0,032	0,027	0,83
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,40	0,57	0,70	0,81	0,96	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	0,80	0,81	0,82	0,82	0,92	
0,060	0,1031	$\Delta t/\text{s}$	0,069	0,049	0,039	0,035	0,031	0,71
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,38	0,53	0,67	0,74	0,84	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	0,72	0,70	0,75	0,68	0,71	
0,050	0,0860	$\Delta t/\text{s}$	0,076	0,054	0,044	0,038	0,035	0,57
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,34	0,48	0,59	0,68	0,74	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	0,58	0,58	0,58	0,58	0,55	
0,040	0,0689	$\Delta t/\text{s}$	0,084	0,061	0,049	0,043	0,038	0,46
		$v/\text{m.s}^{-1}$	0,31	0,43	0,53	0,60	0,68	
		$a/\text{m.s}^{-2}$	0,48	0,46	0,47	0,45	0,46	

2)

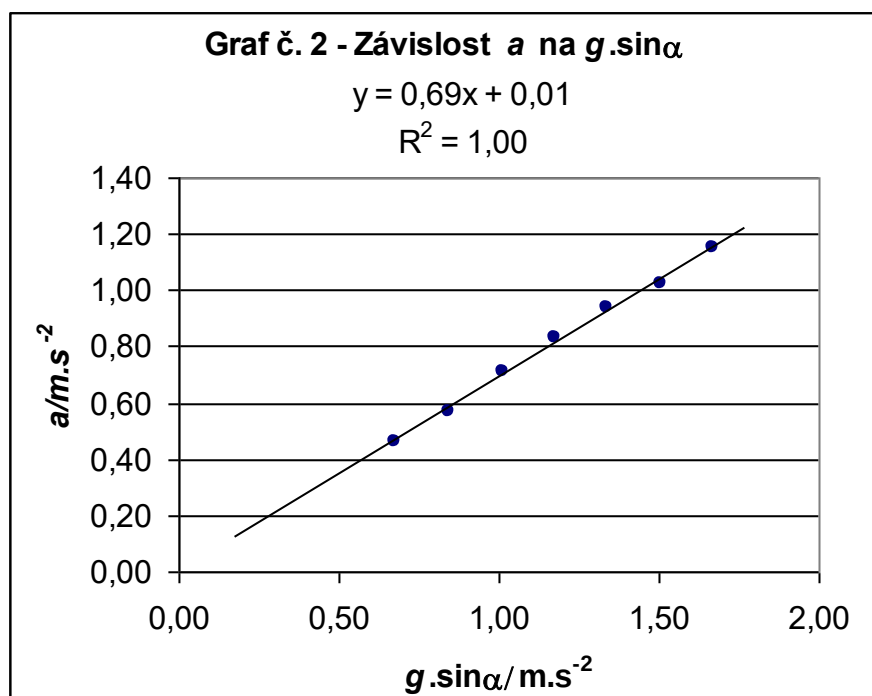


Kulička na nakloněné rovině – vyšší gymnázium

3)

Tabulka. č. 2 - Závislost zrychlení na $g \cdot \sin \alpha$

α/rad	$g \cdot \sin \alpha$	$a/\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
0,1707	1,67	1,15
0,1539	1,50	1,02
0,1371	1,34	0,94
0,1201	1,18	0,83
0,1031	1,01	0,71
0,0860	0,84	0,57
0,0689	0,67	0,46



Závěr: Grafu závislosti rychlosti kuličky na dráze nejlépe odpovídají mocninné funkce, koeficient determinace je pro všechny sklony 1,00. Až na dalších desetinných místech by se projevila odchylka od jedné. Mocnitel nabýval hodnot 0,51 , 0,52 , 0,49 , což znamená téměř přesně druhou odmocninu. Tím se potvrzuje vzorec $v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$. Při větším sklonu má rychlost při stejné dráze větší hodnotu.

Pro každý sklon vychází zrychlení, které sice není přesně konstantní, ale rozptýl hodnot není velký. Odchytky jsou zapříčiněny přesností, s níž jsou měřeny veličiny Δt , d , h , l .

Pomocí regrese lineární funkcí $a = 0,69 \cdot g \cdot \sin \alpha$ se podařilo určit směrnici přímky $k = 0,69$.

Podle teorie (jde o valení homogenní koule) má platit: $a = 0,71 \cdot g \cdot \sin \alpha$.

Odchylka směrnic činí 2,8 % . Kromě přesnosti měření uvedených veličin se na odchylce také podílí, nakolik je experimentální stůl vodorovný. Jistý vliv sehrávají i nerovnosti nakloněné roviny a s nimi spojený valivý odpor.

Volný pád

Pomůcky: „hřeben“, pravítko, zátěž (osvědčil se hokejový puk), stojan, počítač, ISES, modul optická závora.

Úkoly:

- 1) Pozorujte volný pád „hřebenu“ bez zátěže přes optickou závoru a rozhodněte, o jaký jde pohyb.
- 2) Změřte pětkrát dobu pádu hřebenu bez zátěže. Vypočtěte průměrný čas a průměrnou rychlost.
- 3) Změřte pětkrát dobu pádu hřebenu se zátěží. Vypočtěte průměrný čas a průměrnou rychlost porovnejte s pádem bez zátěže.

Výklad:

Volný pád je pohyb, kdy těleso uvolníme a začne padat vlivem gravitace svisle dolů. Hřeben, který vstoupí do optické závory, způsobí každým svým zubem její zatmění. Z monitoru změříme dobu t od druhého do desátého zubu. Průměrnou rychlost hřebenu pak vypočteme jako podíl dráhy s a času t :

$$v_p = \frac{s}{t}.$$

Vypracování:

dráha od druhého do desátého zubu: $s = \dots$ m

	číslo měření	1	2	3	4	5	průměrný čas
bez zátěže	t_1/s	.,..	.,..	.,..	.,..	.,..	.,..
se zátěží	t_2/s	.,..	.,..	.,..	.,..	.,..	.,..

Závěr:

1. Mezi jaké pohyby patří volný pád?
2. Průměrná rychlost bez zátěže byla: $v_{p1} = \dots$ m/s
3. Průměrná rychlost se zátěží byla: $v_{p2} = \dots$ m/s
4. Závisí volný pád tělesa na jeho hmotnosti?

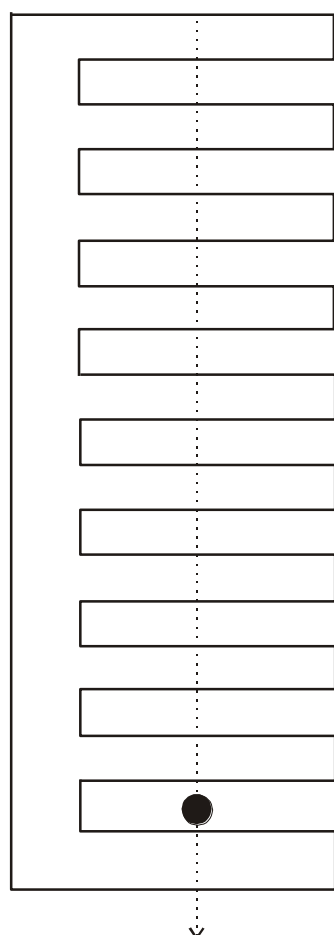
Provedení:

Optickou závoru připojíme do kanálu A, uchyťme do stojanu a upravíme její šířku asi na 3 cm. Spustíme ISES a založíme nový experiment.

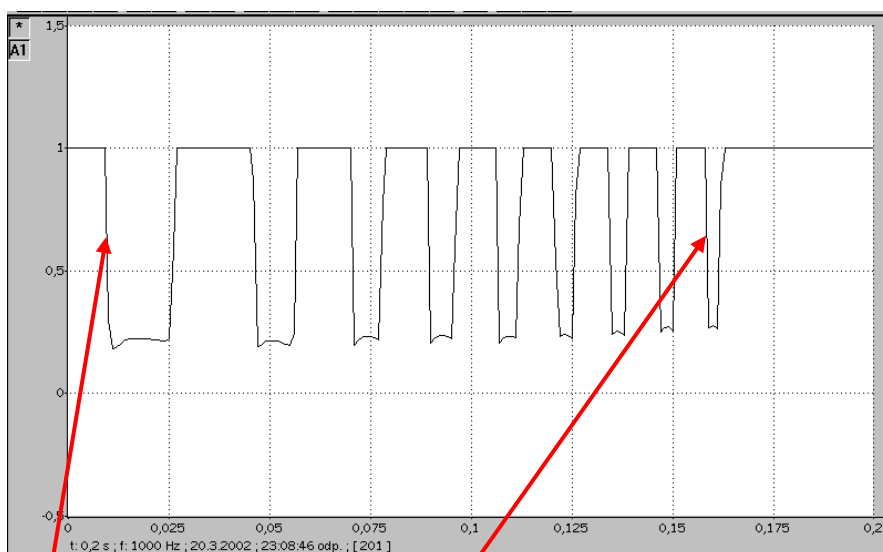
Nastavení: doba měření 0,2 s, vzorkování 1000 Hz, start trigger, kanál A, hladina 0,5, pretrigger 5%,

hrana sestupná , zobrazení – definice – min Y= -0,5, max Y=1,5.

Na obrazovce je připravené okno s časovou osou nastavenou na 0,2 s, graf se zatím nevysvětluje. Počítač čeká s měřením, až nastane zatmění závory.



Hřeben umístíme do optické závory mezerou mezi prvním a druhým zubem a zlehka uvolníme. Pád je zaznamenán na monitoru. Při podařeném pokusu je vidět 9 zubů („dolíky“).



Ze zhušťování zubů lze usoudit na druh pohybu.

Nyní pomocí „zpracování měření“



a nástroje „odečet rozdílů“



určíme v polovině hloubky zatmění čas t od vstupu 2. zubu do vstupu 10. zubu pro tabulku. Vypočteme průměrnou rychlost - správné zaokrouhlení čísel udává počet teček v tabulce.



Červenými šipkami nahradíme experiment a stiskneme OK a pokus opakujeme.

Po pěti zdařilých pokusech pověsíme na hřeben zátěž a provedeme pět zdařilých pokusů se zátěží.

Výsledky

Dráha od druhého do desátého zubu: $s = 0,18 \text{ m}$

	číslo měření	1	2	3	4	5	průměrný čas
bez zátěže	t_1 / s	0,149	0,152	0,146	0,149	0,152	0,150
se zátěží	t_2 / s	0,150	0,149	0,153	0,153	0,153	0,152

Závěr:

1. Zuby na hřebenu jsou rozmístěny rovnoměrně a při pádu je vidět, že hřeben urazí stejné úseky dráhy za nestejně časy. Časy se stále zkracují, jde tedy o pohyb zrychlený.
2. Průměrná rychlost bez zátěže byla: $v_{p1} = 1,20 \text{ m/s}$.
3. Průměrná rychlost se zátěží byla: $v_{p2} = 1,18 \text{ m/s}$.
4. Měřeními, která jsme provedli, jsme prokázali, že průměrná rychlost volného pádu na hmotnosti tělesa nezávisí. Drobné odchylky jsou způsobeny především nestejným vypuštěním hřebenu.

Volný pád – teoretická příprava

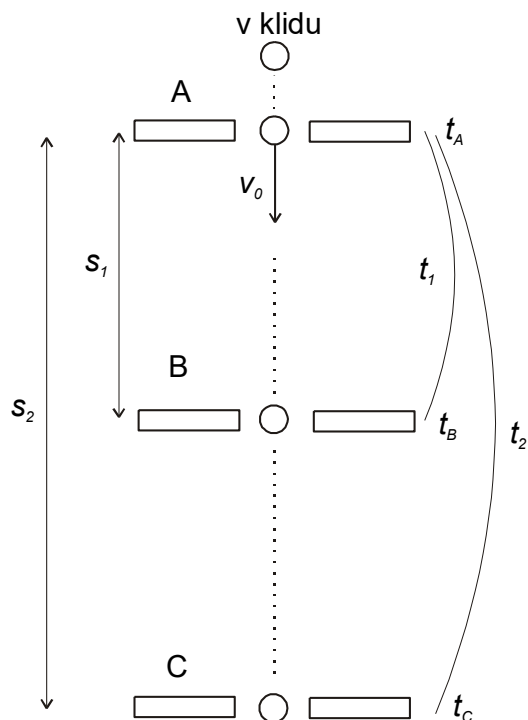
VÝPOČET g Z VOLNÉHO PÁDU

Těleso je volně puštěno nad bodem A. V bodech A, B, C jsou umístěny fotobuňky, které změří časy průletu tělesa např:

$$t_A = 0,125 \text{ s}, \quad t_B = 0,304 \text{ s}, \quad t_C = 0,403 \text{ s}.$$

$$|AB| = s_1 = 0,30 \text{ m}, \quad |AC| = s_2 = 0,60 \text{ m} \quad \text{jsou vzdálenosti fotobuněk.}$$

Určete hodnotu tíhového zrychlení g .



Řešení:

Pohyb mezi body A a C je rovnoměrně zrychlený se zrychlením g a počáteční rychlost v bodě A je v_0 . Platí tedy pro něj rovnice

$$s_1 = v_0 \cdot t_1 + \frac{1}{2} g \cdot t_1^2$$

$$s_2 = v_0 \cdot t_2 + \frac{1}{2} g \cdot t_2^2$$

kde t_1, t_2 jsou časy, které vypočítáme:

$$t_1 = t_B - t_A = 0,179 \text{ s}, \quad t_2 = t_C - t_A = 0,278 \text{ s}.$$

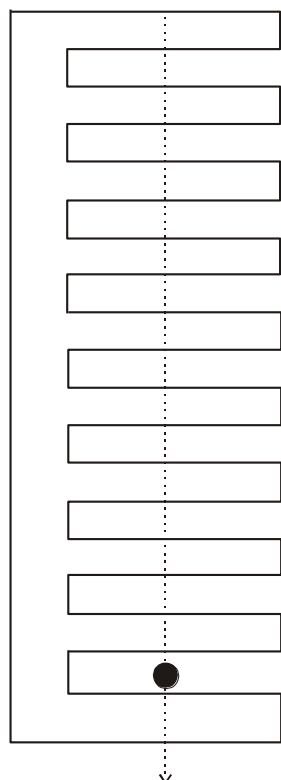
Dosadíme do rovnic

$$0,30 = v_0 \cdot 0,179 + 0,5 \cdot g \cdot 0,179^2$$

$$0,60 = v_0 \cdot 0,278 + 0,5 \cdot g \cdot 0,278^2$$

Vzniklou soustavu rovnic vyřešíme dosazovací metodou.

$$\text{Vyjde } g = 9,74 \text{ m.s}^{-2}.$$



Co se stane, jestliže všechny hodnoty zůstanou stejné, jen čas t_B se zvětší o tři tisíce sekundy?

$$t_B = 0,307 \text{ s}$$

Řešením soustavy získáme

$$g = 10,62 \text{ m.s}^{-2}$$

Je vidět, že malá chyba v měření jednoho času způsobí velkou chybu g . Proto je lepší provést měření ve více než třech bodech.

Přes jedinou fotobuňku (optickou závorku) bude padat těleso podobné hřebenu, jehož polohu určíme podle zatmění infračerveného paprsku každým zubem.

Je třeba určit vzdálenost dvou následujících hran zubů, které zakryjí paprsek.

SKUPINOVÁ METODA ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

Pro rovnici $s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$ měříme s a t . Jako neznámé zůstávají veličiny v_0 a g . Pokud by byly veličiny s a t přesné, stačily by nám dvě dvojice $[s; t]$ k sestavení dvou rovnic o dvou neznámých a k jejich vyřešení. Protože však naměřené veličiny obsahují určitou chybu, sestavíme tolik rovnic, kolik máme uspořádaných dvojic $[t; s]$.

Např. máme tabulku o čtyřech řádcích

s/m	t/s
0,0750	0,069
0,0833	0,075
0,0917	0,081
0,1000	0,085

z níž lze sestavit 4 rovnice

$$0,0750 = 0,069 \cdot v_0 + 0,0023805 \cdot g$$

$$0,0833 = 0,075 \cdot v_0 + 0,0028125 \cdot g$$

$$0,0917 = 0,081 \cdot v_0 + 0,0032805 \cdot g$$

$$0,1000 = 0,085 \cdot v_0 + 0,0036125 \cdot g$$

Rozdělíme rovnice do dvou skupin (jsou dvě neznámé). Sečteme první dvě rovnice a druhé dvě rovnice a každou vynásobíme 1000

$$158,3 = 144 \cdot v_0 + 5,193 \cdot g$$

$$191,7 = 166 \cdot v_0 + 6,893 \cdot g$$

Vyřešíme soustavu například dosazovací metodou. Vyjde $g = 10,16 \text{ m.s}^{-2}$, $v_0 = 0,733 \text{ m.s}^{-1}$. Takto získané g a v_0 se opírá o čtyři měření a má větší váhu než výsledek z pouhých dvou měření. Ještě větší váhu bude mít výpočet založený na tabulce s 8 řádky.

Příklad: Určete g a v_0 skupinovou metodou z následující tabulky:

s/m	t/s
0,1083	0,091
0,1167	0,097
0,1250	0,101
0,1333	0,106

(Výsledky: $g = 10,78 \text{ m.s}^{-2}$, $v_0 = 0,690 \text{ m.s}^{-1}$.)

Volný pád

Pomůcky: „hřeben“, pravítko, zátěž (osvědčil se hokejový puk), stojan, počítač, ISES, modul optická závora.

Úkoly:

- 1) Proměřit závislost dráhy padajícího hřebene na čase pro hřeben bez zátěže a pro hřeben se zátěží.
- 2) Skupinovou metodou určit tíhové zrychlení pro hřeben padající bez zátěže a se zátěží.
- 3) Sestrojit graf: *Závislost dráhy nezatíženého hřebene na čase* pro jeden volný pád. Určit g kvadratickou regresí.

Teorie:

Jednotlivé zuby hřebene při volném pádu přerušují paprsek optické závory. Ze „zhušťování“ grafu lze usoudit, že jde o zrychlený pohyb. Pro jeho dráhu, při zanedbání odporu vzduchu, platí rovnice:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2.$$

Veličina v_0 představuje rychlost, kterou vstupuje hřeben do optické závory, t je čas měřený od okamžiku prvního zatmění.

Provedení:

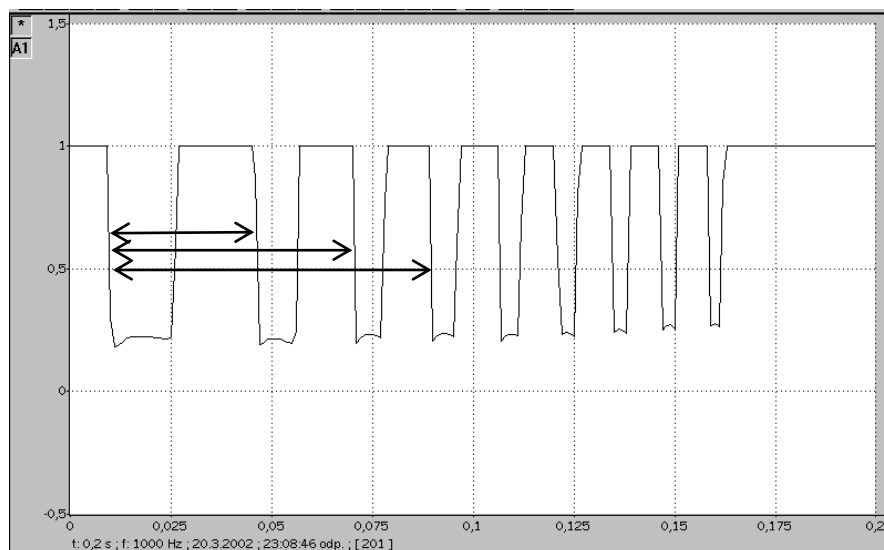
1. a 2. úkol: Změříme celkovou délku všech zubů, spočítáme zuby a vypočteme vzdálenost mezi dvěma zuby.

Konektor optické závory připojíme do kanálu A. Samotnou závoru upevníme do stojanu, její šířku upravíme asi na 3 cm. Spustíme ISES, založíme nový experiment a nastavíme **Parametry experimentu**:

Nastavení: Doba měření: 0,2 s, vzorkování 1000 Hz, start měření: trigger, kanál A, hladina: 0,5, pretrigger: 5%, hrana: sestupná, zobrazení – definice – min Y= -0,5, max Y=1,5

Pomocí **OK** spustíme měření. Na obrazovce je připravené okno s časovou osou nastavenou na 0,2 s, graf se zatím nevykresluje. Na liště v pravém dolním rohu vidíme nápis „trigger (A;0,5;5%)“, který znamená, že počítač čeká s měřením, až nastane zatmění závory (sestupná hrana).

Hřeben umístíme do optické závory mezerou mezi prvním a druhým zubem a zlehka uvolníme. Pád je zaznamenán na monitoru. Při podařeném pokusu je vidět 9 zubů („dolíky“).





Nyní pomocí „**zpracování měření**“ a nástroje „**odečet rozdílů**“ určíme v polovině hloubky impulzů časy t pro všechny zuby měřené od okamžiku, kdy první zub způsobil zatmění (časy jsou první sloupec v okně vpravo). Skupinovou metodou určíme g_1 .



Červenými šipkami nahradíme experiment a provedeme druhý pád bez zátěže, abychom podruhé vypočítali skupinovou metodou g_2 .

Na hřeben zavěšíme zátěž a pokus provedeme ještě dvakrát – vypočteme g_3 , g_4 .

3. úkol: Sestrojíme v excelu graf: *Závislost dráhy na čase (nezatížený hřeben)*. Pomocí kvadratické regrese s potlačením absolutního členu určíme g .

Protokol

Název: Volný pád

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1) Počet zubů: Celková délka: Vzdálenost dvou zubů:

Tabulka — Závislost dráhy na čase (bez zátěže a se zátěží)

s/m	bez zátěže t/s	bez zátěže t/s	se zátěží t/s	se zátěží t/s
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

2) Vypočtené tíhové zrychlení bez zátěže: $g_1 = \dots \text{ m.s}^{-2}$

 bez zátěže: $g_2 = \dots \text{ m.s}^{-2}$

 se zátěží: $g_3 = \dots \text{ m.s}^{-2}$

 se zátěží“ $g_4 = \dots \text{ m.s}^{-2}$

3) *Graf: Závislost dráhy na čase (bez zátěže).* Kvadratická regrese.

Tíhové zrychlení určené regresí: $g_5 = \dots \text{ m.s}^{-2}$

Závěr: Porovnáme vypočtená tíhová zrychlení s tabulkovou hodnotou uváděnou pro česká města. Vypočteme, o kolik procent se liší. Čím mohou být způsobeny odchylky? Vyhodnotíme, jak závisí dráha volného pádu na čase, jaké je tíhové zrychlení určené kvadratickou regresí. Vyhodnotíme vliv zátěže na volný pád.

Výsledky

Název: Volný pád

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1), 2) Počet zubů: 10

Celková délka: 0,20 m

Vzdálenost dvou zubů: 0,02 m

Tabulka — Závislost dráhy na čase (bez zátěže a se zátěží)

s/m	bez zátěže t/s	bez zátěže t/s	se zátěží t/s	se zátěží t/s
0,020	0,048	0,039	0,035	0,038
0,040	0,073	0,062	0,059	0,060
0,060	0,092	0,081	0,076	0,079
0,080	0,110	0,098	0,094	0,097
0,100	0,125	0,113	0,108	0,111
0,120	0,139	0,126	0,120	0,124
0,140	0,151	0,138	0,133	0,137
0,160	0,162	0,150	0,144	0,148

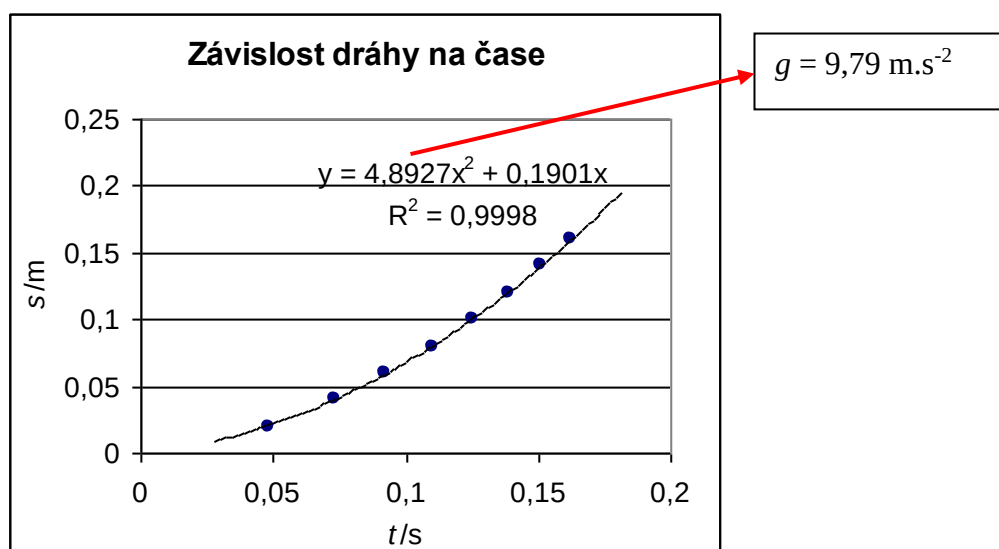
3) Vypočtené tíhové zrychlení

bez zátěže: $g_1 = 9,68 \text{ m.s}^{-2}$,

$g_2 = 9,68 \text{ m.s}^{-2}$

se zátěží $g_3 = 9,98 \text{ m.s}^{-2}$,

$g_4 = 9,65 \text{ m.s}^{-2}$



Závěr: Grafem závislosti dráhy na čase je konvexní parabola, což odpovídá rovnici $s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$.

Z hodnoty koeficientu determinace (0,9998) je vidět, že body leží téměř ideálně na parabole.

Při porovnání s tabulkovým tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ je hodnota bez zátěže $g = 9,68 \text{ m.s}^{-2}$ nižší o 1,3 %. Průměrná hodnota se zátěží $g = 9,82 \text{ m.s}^{-2}$ je vyšší o 0,1 %. Zdrojem chyb může být

odečítání časů z monitoru, hrany zubů by měly při pádu zachovávat vodorovný směr. Ke zpřesnění by jistě pomohlo, pokud by vzorkovací frekvence mohla být vyšší než 1000 Hz.

Pomocí regrese kvadratickou funkcí vyšlo tíhové zrychlení pro první volný pád $g = 9,79 \text{ m.s}^{-2}$, což je hodnota o 0,2 % nižší než tabulková.

Dokázali jsme, že skupinová metoda i kvadratická regrese vedou k velmi dobré shodě s tabulkovou hodnotou.

V provedených pokusech jsme zároveň dokázali, že volný pád nezávisel na hmotnosti padajícího tělesa.

Otáčivý pohyb vrtule

Pomůcky: zdroj regulovatelného stejnosměrného napětí 0 až 12 V, motorek na 12 V s vrtulí, počítač, ISES, modul optická závora

Úkoly:

- 1) Určete dobu jedné otáčky (periodu) T vrtule pro napětí na motorku 2 V, 3 V, 4 V, ... až 9 V.
- 2) Nakreslete graf: *Závislost doby otáčky T na napětí U* . Proložte vhodnou křivku.

Výklad:

Vrtule koná při stálém napětí rovnoměrný otáčivý pohyb. Během jedné otáčky zakryje vrtule optickou závoru dvakrát.

Vypracování:

U/V	2	3	4	5	6	7	8	9
T/s	.,...	.,...	.,...	.,...	.,...	.,...	.,...	.,...



zvolené měřítko: na ose U : 1 cm $\approx$ 1 V

na ose T : 1 cm $\approx$

Závěr:

Z grafu a tabulky odpovězte na následující otázky:

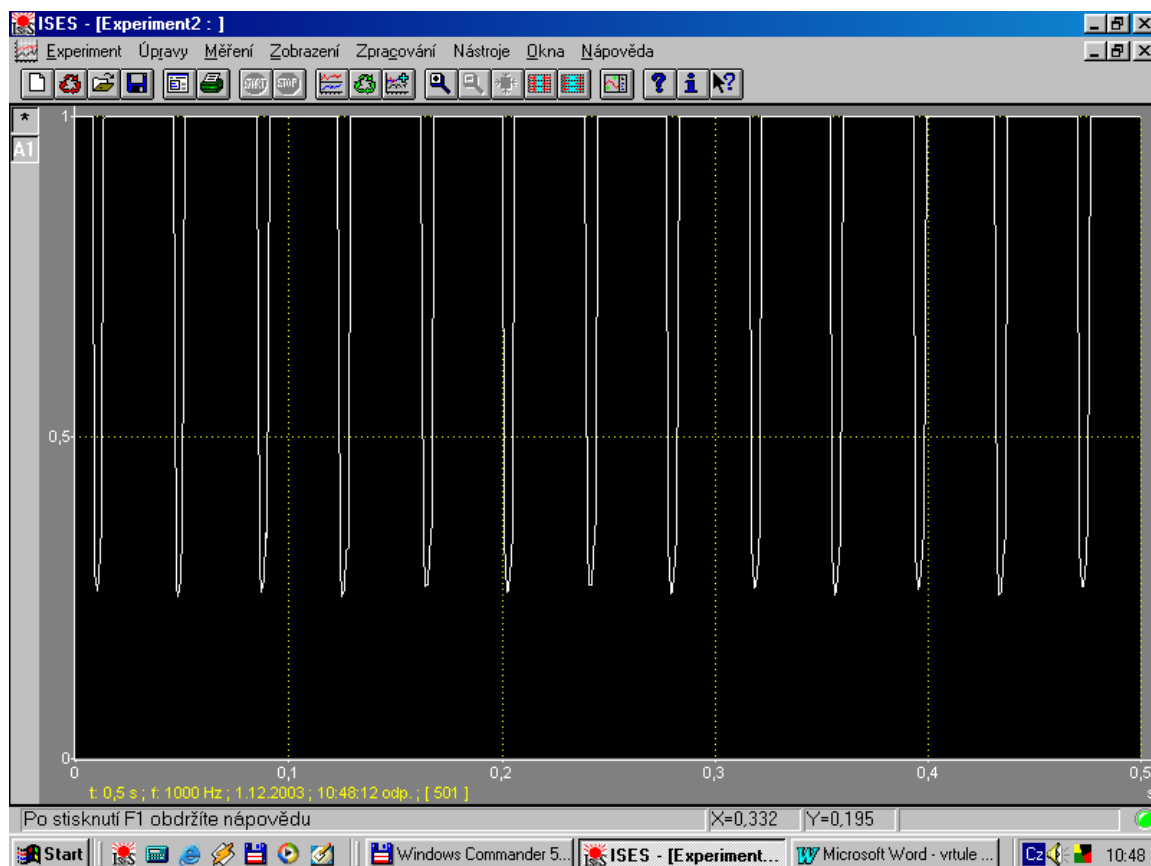
1. Jak se mění doba jedné otáčky při zvýšení napětí na motorku?
2. Pokuste se určit, jaká by byla doba jedné otáčky při napětí 7,5 V.
3. Pokuste se určit, jaké by muselo být napětí na motorku, aby doba jedné otočky byla 0,080 s.

Provedení:

Optickou závoru připojíme do kanálu A, spustíme ISES a založíme nový experiment.

Nastavení: Doba měření 0,5 s, vzorkování 1000 Hz, start manuální.

Stiskneme **OK**. Na obrazovce je připravené okno s časovou osou nastavenou na 0,5 s, graf se zatím nevykresluje. Napětí motorku nastavíme na 2 V a opatrně vsuneme roztočenou vrtuli do optické závory. Po stisknutí **ENTER** se provede měření.



Snížíme napětí, aby se vrtule zastavila.

Nyní pomocí „**zpracování měření**“



a nástroje „**odečet rozdílu**“



určíme v polovině hloubky zatmění dobu T jedné otočky (dvě zakrytí).

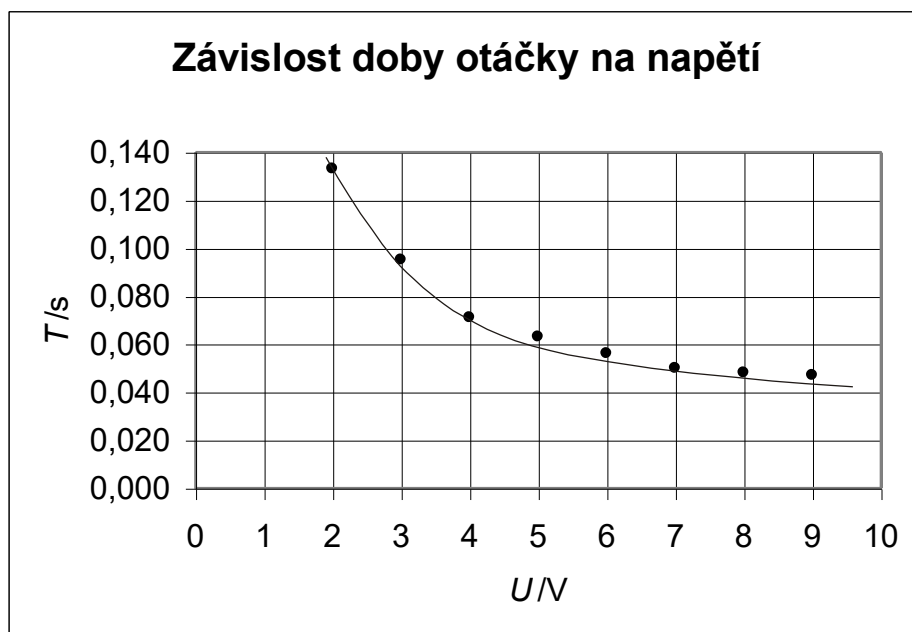


Červenými šipkami **nahradíme** experiment a stiskneme **OK**. Zvýšíme napětí na 3 V, aby se vrtule roztočila a postup opakujeme až do napětí 9 V. Při vyšších otáčkách je vhodné použít nástroj lupa.

UPOZORNĚNÍ: Nezvyšujte napětí přes 10 V. Motorek by se spálil!

Výsledky

U/V	2	3	4	5	6	7	8	9
T/s	0,133	0,095	0,071	0,063	0,056	0,050	0,048	0,047



Závěr:

1. S rostoucím napětím se doba jedné otáčky zkracuje. Nejprve je pokles rychlý, později už není tak výrazný.
2. Z grafu lze odměřit, že při napětí 7,5 V je doba jedné otáčky přibližně 0,050 s.
3. Z grafu lze odměřit, že pro $T = 0,080$ s by muselo být na motorku napětí přibližně 3,6 V.

Vrtule a monitor

Pomůcky: zdroj regulovatelného stejnosměrného napětí 0 až 12 V, motorek na 12 V s vrtulí, počítač, ISES, fotorezistor (např. WK 65075), moduly optická závora, ohmmetr.

Úkoly:

- 1) Prozkoumat závislost mezi počtem „stojících“ listů vrtule (v pořadí 8, 6, 4, 2) a periodou T otáčení vrtule.
- 2) Změřit světlo vydávané monitorem počítače pomocí fotorezistoru.
- 3) Jak vysvětlit „stojící“ listy? Čím je dáno pořadí, v jakém se při zvyšování otáček stojící obrazy objevují?

Teorie:

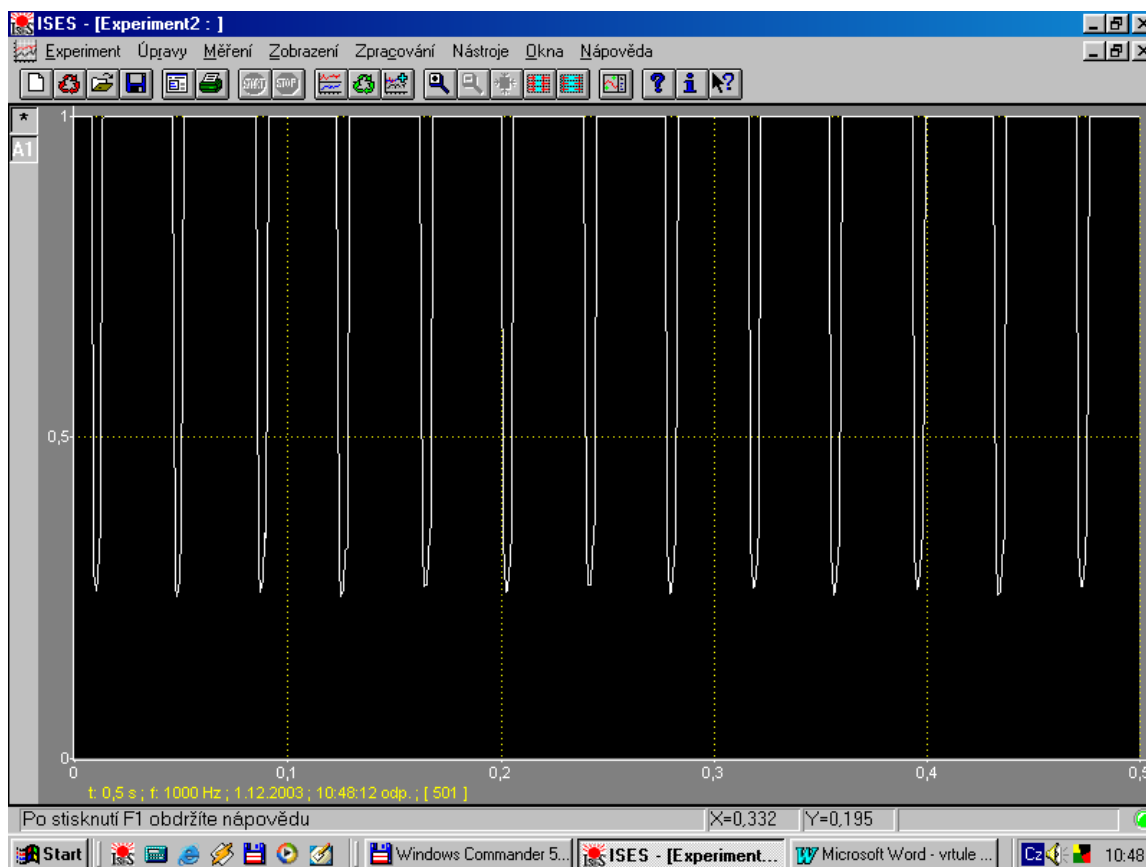
Vrtule koná při stálém napětí rovnoměrný otáčivý pohyb. Během jedné otáčky zakryje vrtule optickou závoru dvakrát.

Provedení:

1. úkol: Optickou závoru připojíme do kanálu A, spustíme ISES a založíme nový experiment.

Nastavení doba měření 0,5 s, vzorkování 1000 Hz, start manuální, *Zobrazení* – parametry panelu – pozadí grafu – barva bílá a definice zobrazení – barva černá.

Stiskneme **OK**. Na obrazovce je připravené okno s časovou osou nastavenou na 0,5 s, pozadí grafu je bílé, graf se zatím nevykresluje. Napětí motorku nastavíme tak, abychom proti bílému monitoru viděli 8 „stojících“ listů vrtule a opatrně vsuneme roztočenou vrtuli do optické závory. Po stisknutí **ENTER** se provede měření.



Nyní pomocí „**zpracování měření**“



a nástroje „**odečet rozdílu**“

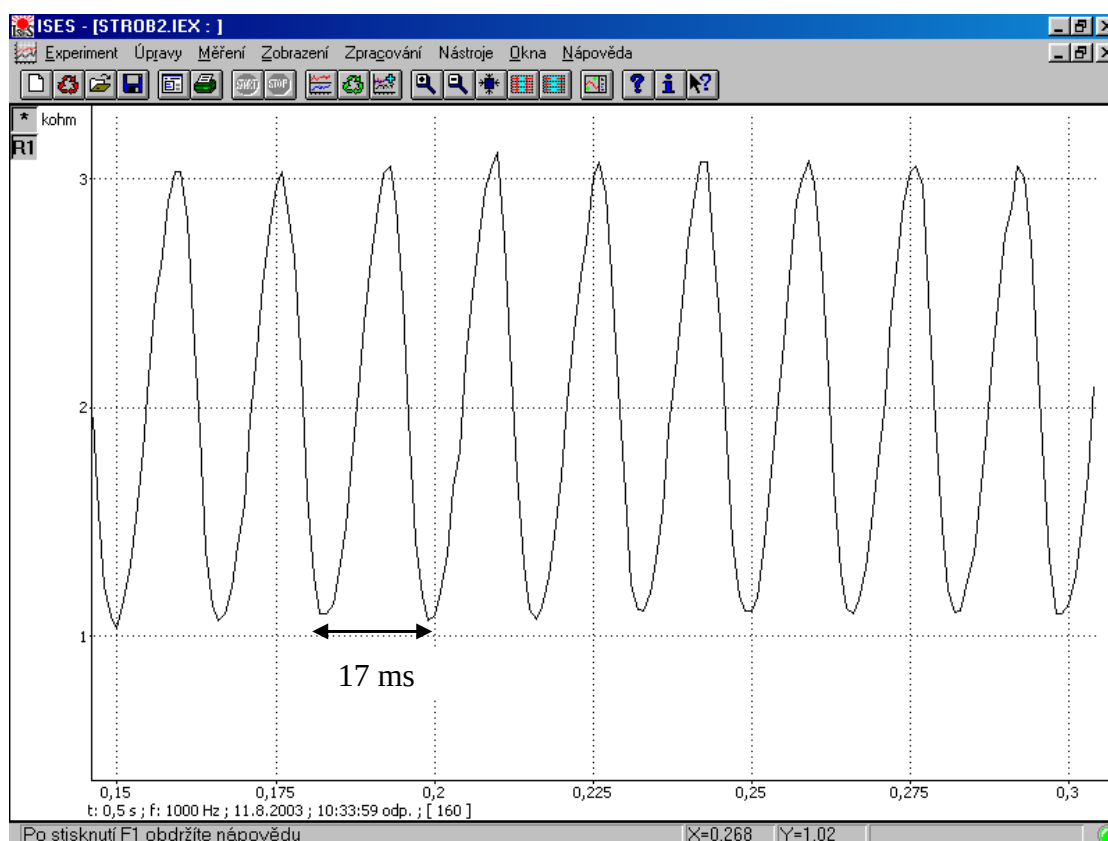


určíme v polovině hloubky impulzů dobu T jedné otočky (dvě zakrytí).



Červenými šipkami **nahradíme** experiment a stiskneme **OK**. Zvýšíme napětí tak, abychom viděli 6 „stojících“ listů a opět určíme periodu otáčení vrtule. Zvyšováním napětí lze dosáhnout obrazu se 4 listy a 2 listy (ostatních obrazů si nevšímáme). Při vyšších otáčkách je vhodné použít nástroj lupa.

2. úkol: V panelu ISES se zamění optická závora za fotorezistor (v našem případě je rozsah $10\text{ k}\Omega$), který se položí citlivou stranou na monitor a provede se měření. Zde je typický naměřený průběh zvětšený lupou:



Je vidět, že jas monitoru periodicky kolísá. Z právě naměřeného grafu se určí perioda blikání

$$T_0 = 17\text{ ms.}$$

Protokol

Název: Vrtule a monitor

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1)

Tabulka: Závislost periody T otáčení vrtule na počtu listů n

n				
T/ms				

Graf: Závislost periody T otáčení vrtule na počtu listů n

2) Co lze říci o světle vydávaném monitorem? Jaký parametr se dá změřit?

3) Stojící obrazy se objevovaly v tomto pořadí:

Závěr: 1) Jaká je závislost mezi T a n ? Popište ji pomocí regresní funkce.

2) Jak souvisí měření fotorezistorem s regresní funkcí z 1. úkolu?

3) Jak vysvětlíme „stojící“ listy? Čím je dáno pořadí, v jakém se při zvyšování otáček stojící obrazy objevují?

Výsledky

Název: Vrtule a monitor

Pomůcky:

Teorie:

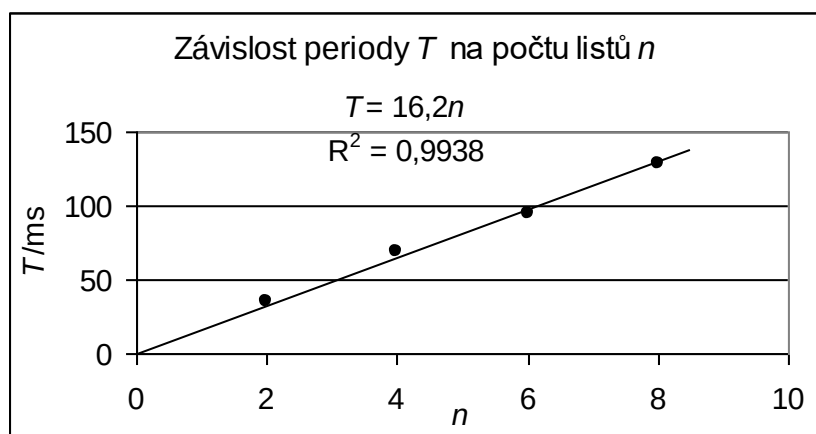
Vypracování:

1)

Tabulka: Závislost periody otáčení T vrtule na počtu listů n

n	8	6	4	2
T/ms	129	95	69	35
$T/n/\text{ms}$	16,1	15,8	17,3	17,5

Vyneseme-li graf *Závislost periody T na počtu listů n* , získáme dosti přesně přímou úměrnost $T = a \cdot n$.



Konstantu a lze určit například v excelu lineární regresí nebo pro každou dvojici v tabulce T/n . Výsledkem regrese je $a = 16,2$ ms. Konstanta a má zřejmě význam času.

2) Z kolísání odporu fotorezistoru je vidět, že jas monitoru periodicky kolísá. Z naměřeného grafu byla určena perioda blikání $T_0 = 17$ ms.

3) Při zvyšování frekvence otáčení vrtule se stojící obrazy objevovaly v tomto pořadí: 8, 6, 4, 6, 8, 2 listy.

Závěr:

Závislost periody otáčení vrtule na počtu stojících listů popisuje velmi dobře přímá úměrnost $T = 16,2 n$ ms s koeficientem determinace 0,9938.

Pomocí fotorezistoru jsme dokázali, že jas monitoru kolísá s periodou 17 ms. Tato hodnota se blíží hodnotě $a = 16,2$ ms zjištěné lineární regresí v úkolu č. 1.

Tajemství stojících listů vrtule spočívá v blikání monitoru. Pozorovaný efekt pak lze vysvětlit jako stroboskopický jev. Můžeme si jej všimnout např. v televizi při pohybu kola kočáru, které se většinou otáčí nereálně pomalu, někdy i na druhou stranu.

Náš monitor měl nastavenou obnovovací frekvenci na 60 Hz (tuto hodnotu lze ve windows změnit) a tomu odpovídá perioda $T_0 = 16,7$ ms. To je hodnota, která se liší jen o 3 % od námi určeného a . Konstanta a má tedy význam periody blikání pozorovaného místa monitoru.

V průběhu zvyšování frekvence se stojící obrazy objevovaly v tomto pořadí: 8, 6, 4, 6, 8, 2 listy. Jak vysvětlit toto pořadí?

Temný obraz vrtule proti monitoru vzniká tak, že vrtule zakrývá dané místo monitoru opakovaně vždy ve chvíli, kdy jej elektronový paprsek zjasňuje. Počet zastavených listů závisí na úhlu α , který urazí list vrtule za periodu blikání T_0 .

Tabulka: Závislost počtu stojících listů n na úhlu α , který opíše list vrtule za periodu blikání monitoru

α	45°	60°	90°	120°	135°	180°
počet listů	8	6	4	6	8	2

Pořadí v tabulce odpovídá pořadí zjištěnému experimentálně. Toto pořadí nezávisí na obnovovací frekvenci monitoru.

Je třeba říci, že se dá zastavit i více než 8 listů, ale to už se těžko počítá, neboť obraz je nestabilní. Při vyšších frekvencích také dochází k „ohýbání listů“, což souvisí s řádkováním monitoru.

Kratší periody než 35 ms už nešlo s daným motorkem dosáhnout.

Tažná síla vrtule

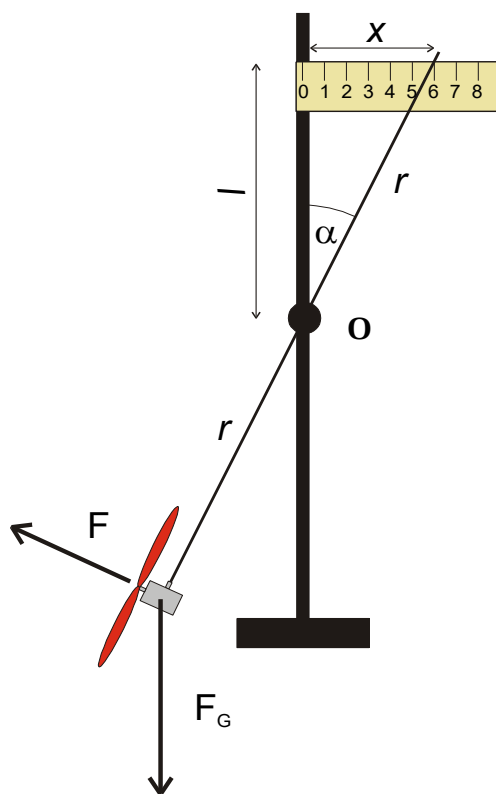
Pomůcky: vrtule a motorek na závěsném drátu, regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí do 12 V, stojan s osou a měřítkem, svinovací metr, počítač, ISES, moduly: optická závora, voltmetr, ampérmetr.

Úkoly:

- 1) Odvodit vzorec pro tahnou sílu vrtule.
- 2) Proměřit závislosti tahné síly vrtule na frekvenci, frekvence na příkonu a síly na příkonu. Najít regresní funkce.

Teorie:

Vrtule koná při stálém napětí rovnoměrný otáčivý pohyb. Během jedné otáčky zakryje vrtule optickou závoru dvakrát.



Tahnou sílu F vrtule lze vypočítat ze známé hmotnosti motorku s vrtulí ($m = 26 \text{ g}$) a úhlu α . Délka poloviny závěsného drátu je $l = 32,5 \text{ cm}$. Výchylku x určujeme na připevněném měřítku.

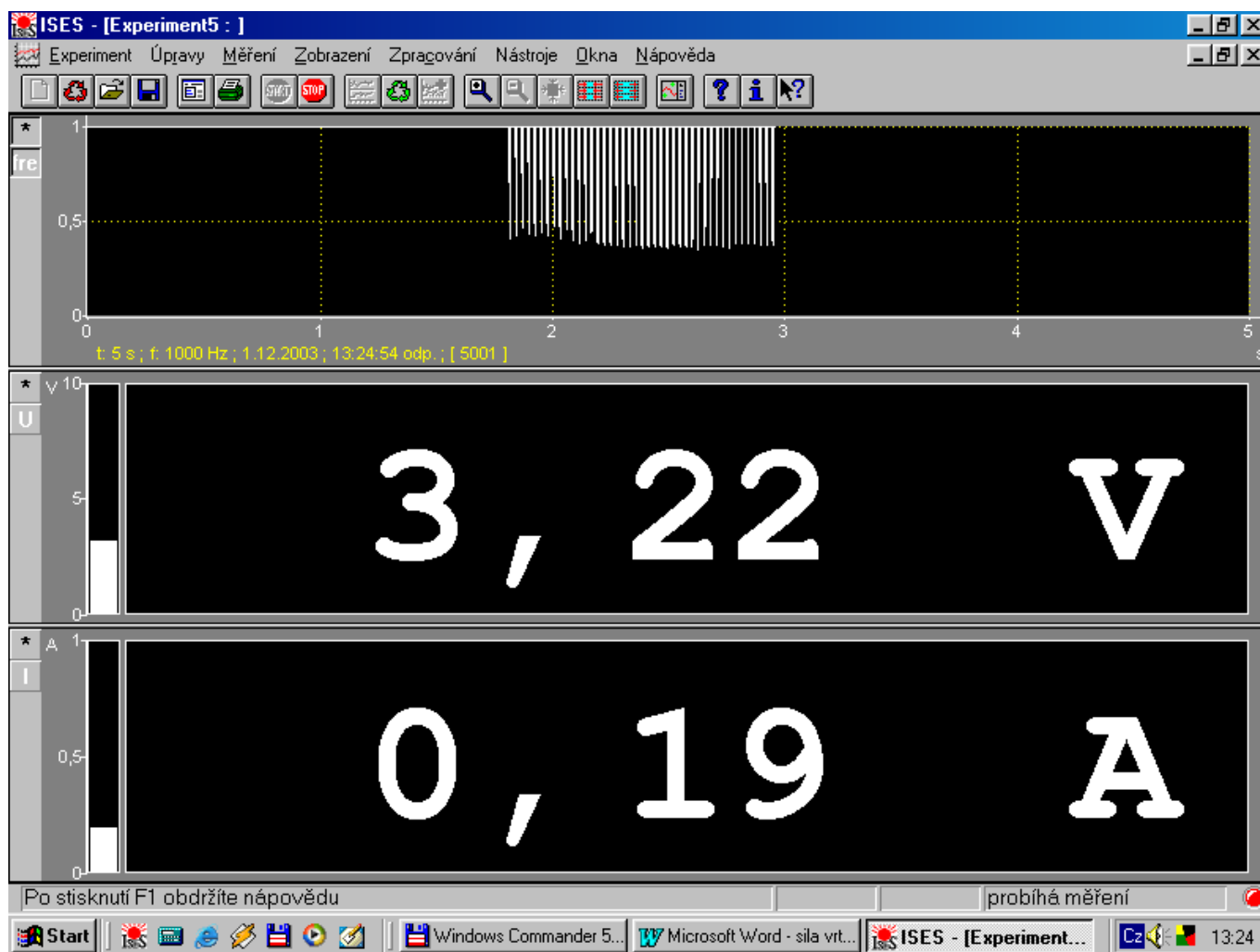
Tahná síla vrtule roste s frekvencí otáčení. Vyšší frekvence ovšem vyžaduje větší elektrický příkon motorku. Vztahy mezi tahnou silou, frekvencí a příkonem se dají experimentálně změřit a regresní funkce najít pomocí excelu.

Provedení:

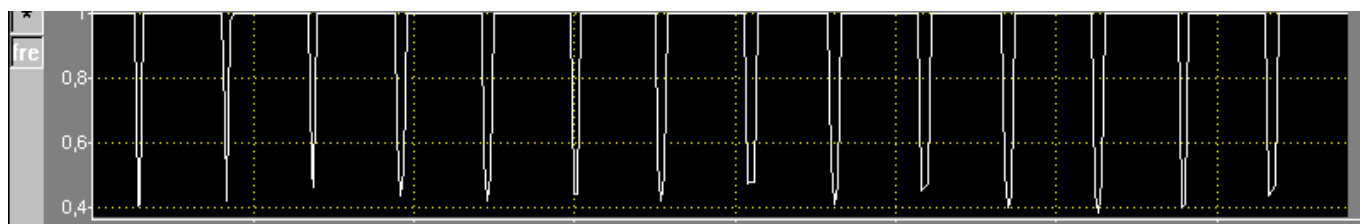
Optickou závoru připojíme do kanálu A, voltmetr s rozsahem 10 V stejnosměrným do kanálu B a ampérmetr s rozsahem 1 A stejnosměrným do kanálu C. Spustíme ISES a založíme nový experiment.

Nastavení: doba měření 5 s, vzorkování 1000 Hz, start automatický, aktivujeme kanály A, B, C, zobrazení – panel č.2 – parametry panelu – digitální zobrazení, zaškrtnout des. míst –2, panel č.3 – parametry panelu – digitální zobrazení, zaškrtnout des. míst –2.

Regulací napětí nastavíme $x = 1 \text{ cm}$. Spustíme měření. Na obrazovce jsou připravena tři okna pro měření frekvence otáčení, napětí a proudu s časovou osou nastavenou na 5 s. Máme 5 s na to, abychom zasunuli roztočenou vrtuli do optické závory.



Pomocí nástroje lupa si zvětšíme záznam z optické závory.



Nyní pomocí „**zpracování měření**“ a nástroje „**odečet frekvence**“ určíme frekvenci vrtule (Pozor! Dvoulistá vrtule má poloviční frekvenci než je naměřená!). Z monitoru odečteme napětí a proud.

Zvýšíme napětí tak, aby výchylka $x = 2$ cm atd až do 10 cm. Červenými šipkami vždy nahradíme experiment a stiskneme **OK**.

Protokol

Název: Tažná síla vrtule

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1) Odvození vzorce pro tažnou sílu.

2)

Tabulka: Určení frekvence, tažné síly a příkonu

f/Hz	x/cm	F/N	U/V	I/A	P/W
	1,0				
	2,0				
	3,0				
	4,0				
	5,0				
	6,0				
	7,0				
	8,0				
	9,0				
	10,0				

Závěr: Okomentujeme grafy a námi nalezené regresní funkce.

Výsledky

Název: Tažná síla vrtule

Pomůcky:

Teorie:

Vypracování:

1) Odvození vzorce pro sílu:

Nedochází-li k otáčení motorku kolem osy O, jsou v rovnováze momenty:

$$F \cdot r = F_G \cdot r \cdot \sin \alpha$$

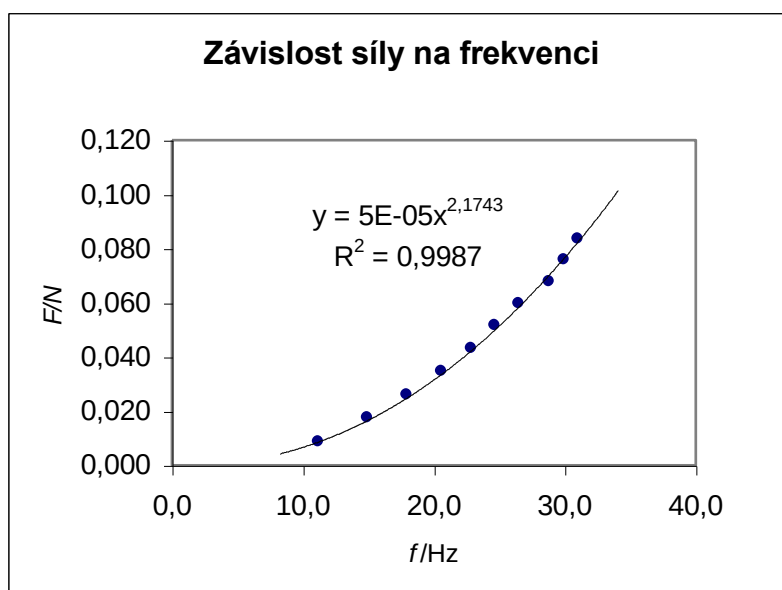
$$F = F_G \cdot \sin \alpha$$

Pro tažnou sílu vrtule pak platí:
$$F = mg \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + l^2}}$$

2)

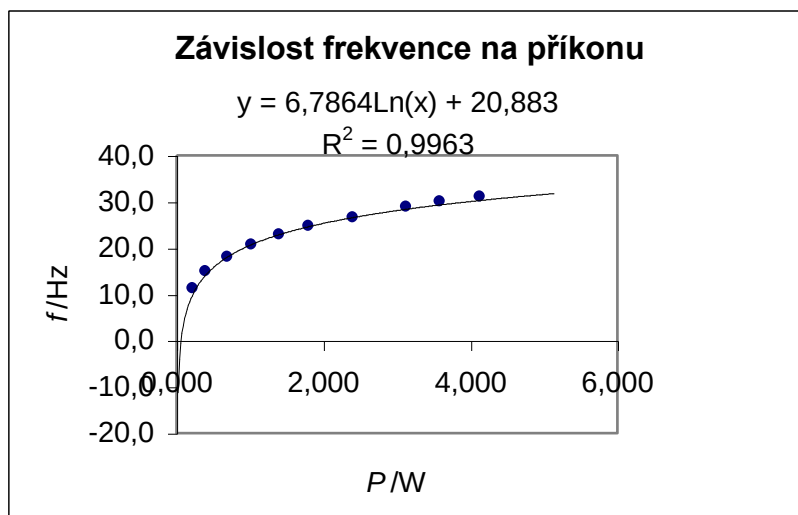
Tabulka: Určení frekvence, tažné síly a příkonu

f/Hz	x/cm	F/N	U/V	I/A	P/W
11,2	1,0	0,009	2,02	0,11	0,222
15,0	2,0	0,017	2,68	0,15	0,402
18,0	3,0	0,026	3,67	0,19	0,697
20,6	4,0	0,035	4,46	0,23	1,026
22,9	5,0	0,043	5,19	0,27	1,401
24,7	6,0	0,052	6,01	0,30	1,803
26,5	7,0	0,060	6,87	0,35	2,405
28,8	8,0	0,068	7,82	0,40	3,128
30,0	9,0	0,076	8,55	0,42	3,591
31,0	10,0	0,084	9,39	0,44	4,132

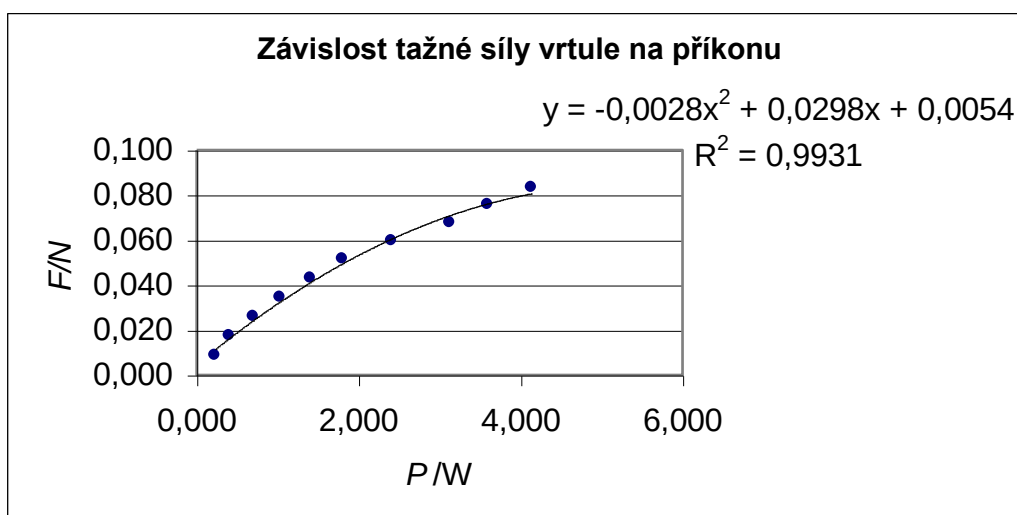


Síla roste přibližně s druhou mocninou frekvence.

Tažná síla vrtule – vyšší gymnázium



Zpočátku frekvence se zvyšováním příkonu rychle roste. Tento růst se při vyšším příkonu již zpomaluje. Pro matematický popis nejlépe vyhovuje logaritmická funkce.



V naměřeném rozsahu vyhovuje polynom druhého stupně.

Závěr: Tažnou sílu vrtule lze vypočítat z odvozeného vzorce $F = mg \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + l^2}}$.

Síla roste přibližně s druhou mocninou frekvence (konvexní funkce), závislost frekvence na příkonu motorku dobře popisuje logaritmická funkce a závislost tažné síly na příkonu v měřeném rozsahu vystihuje polynom druhého stupně (konkávní funkce).

Záření černého tělesa

Pomůcky: Počítač, ISES.

Úkoly:

- 3) Ze znalosti Planckova vyzařovacího zákona odvodit graficky pomocí regresní funkce Wienův posunovací zákon. Určit konstantu b .
- 4) Ze znalosti Planckova vyzařovacího zákona odvodit graficky pomocí regresní funkce Stefan-Boltzmannův zákon. Určit Stefan-Boltzmannovu konstantu σ .
- 5) Určit hodnoty pro sestavení grafu: *Závislost světelné účinnosti žárovky na teplotě vlákna* pro interval teplot 3000 K až 1000 K. Najít regresní funkci.
- 6) Jaká je světelná účinnost Slunce?

Teorie: Pro záření černého tělesa odvodil Max Planck v roce 1900 tzv. Planckův vyzařovací zákon:

$$H_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1}$$

kde H_{λ} je spektrální hustota intenzity vyzařování, h je Planckova konstanta, c je rychlost světla ve vakuu, k je Boltzmannova konstanta, T je termodynamická teplota, λ je vlnová délka záření.

Světelnou účinností je míněn poměr výkonu Φ vyzářeného světla ku celkovému vyzářenému výkonu Φ_e .

Za světlo budeme považovat elektromagnetické vlnění o vlnových délkách 0,390 μm až 0,790 μm .

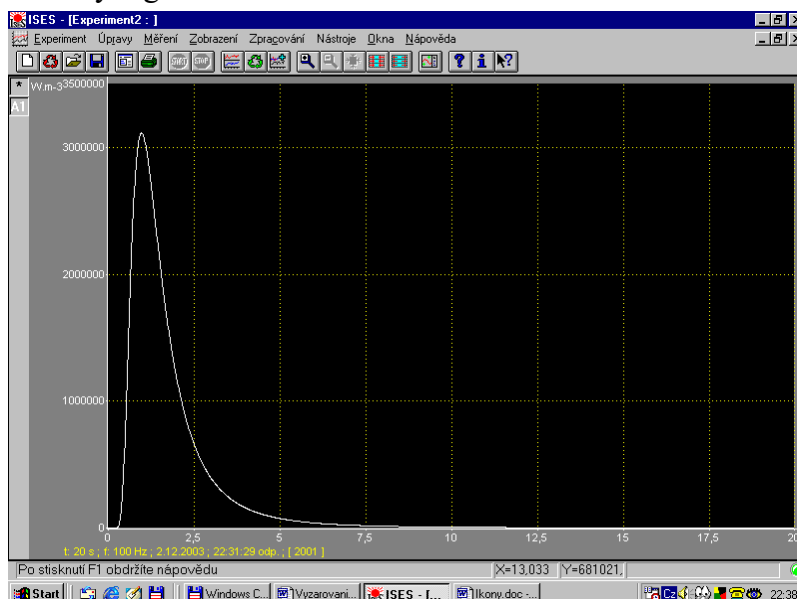
Provedení:

Spustíme ISES, založíme nový experiment, žádné moduly nemusí být zasunuté.

Nastavení: Doba měření 20 s, vzorkování 100 Hz.

Pomocí **OK** spustíme měření. Po jeho ukončení (za 20 s) klikneme na ikonu **úpravy vzhledu**

experimentu . **Nastavíme:** definice – osa Y: $3.7469E8/T^5/(\exp(14404/(T*3000))-1)$, W.m-3, $\max Y=3\,500\,000$. Veličina T představuje vlnovou délku v mikrometrech (jednotka T na ose x nelze změnit), číslo 3000 udává teplotu v kelvinech. Interval vlnových délek je zvolen 0 μm až 20 μm . Po stisknutí **OK** se objeví takovýto graf:



Z grafu určíme pomocí nástroje **odečet**  a **integrál**  potřebné údaje. Pomocí **úpravy vzhledu**  **experimentu** lze změnit teplotu černého tělesa např. po 250 K. Bude také třeba využít nástroj lupa.

Získané údaje zpracujeme pomocí programu Excel.

Pro určení účinnosti Slunce je nutné vyhledat si jeho povrchovou teplotu a změnit maximální hodnotu na ose Y.

Protokol

Název: Záření černého tělesa

Vypracování:

T/K	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000
$\lambda_{max}/\mu m$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$M_e/ W.m^{-2}$	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	...
$M_e'/ W.m^{-2}$	....	....	....	...	...	...	...	...	.....
$\eta/\%$	...	..	..	..	..	...	.....	...	...

Grafy a regresní funkce: *Závislost λ_{max} na teplotě T ,*

Závislost M_e na T ,

Určení konstant z Wienova posunovacího zákona a Stefan - Boltzmannova zákona.

Graf: *Závislost účinnosti žárovky na T*

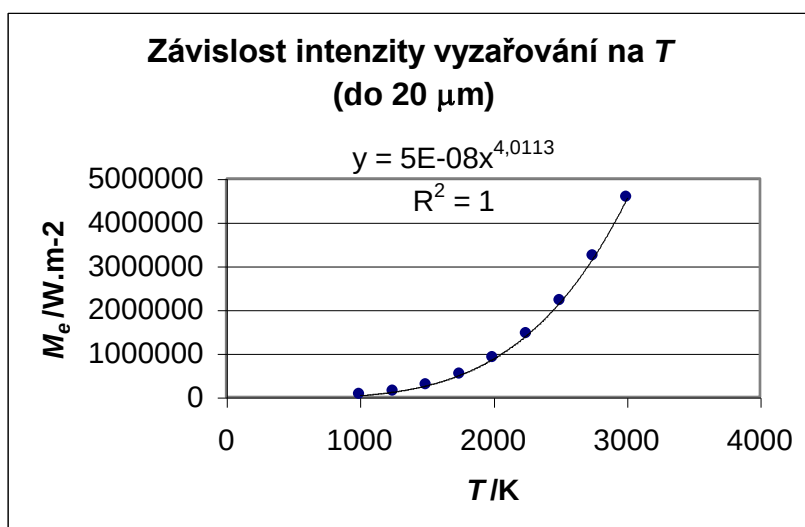
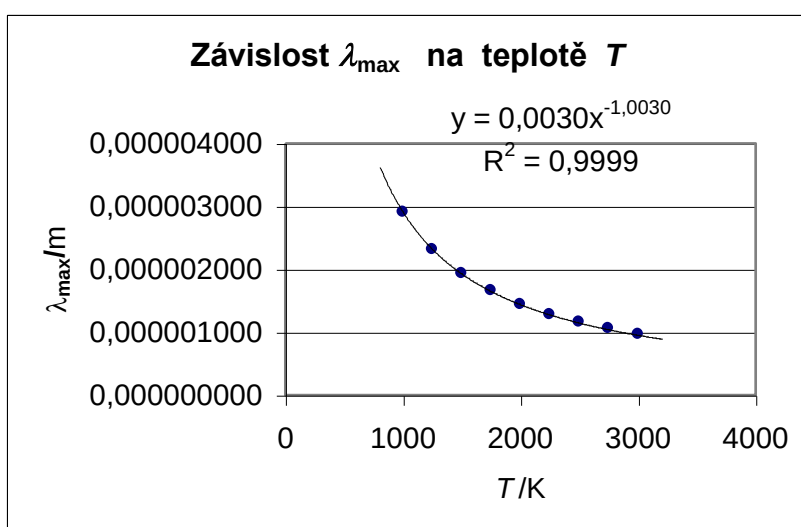
Závěr: Porovnáme námi zjištěné závislosti s teoretickými zákony. Vypočteme relativní odchylky zjištěných konstant od teorie. Jaká je světelná účinnost Slunce?

Výsledky

Název: Záření černého tělesa

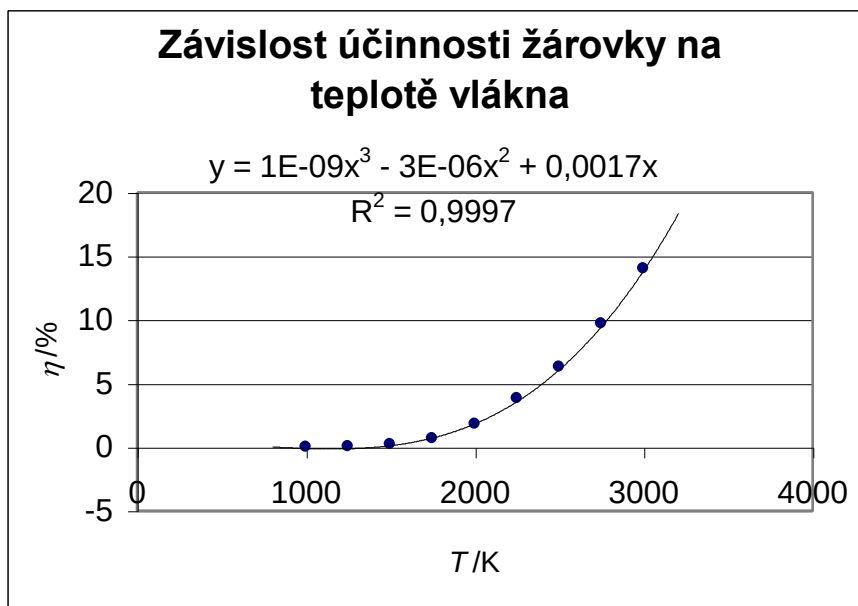
Vypracování:

T/K	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000
$\lambda_{max}/\mu m$	0,964	1,057	1,161	1,276	1,442	1,661	1,928	2,316	2,910
$M_e/ W.m^{-2}$	45567	32131	21904	14334	8911	5190	2771	1310	513
$M_e'/ W.m^{-2}$	6007	3111	1384	538	163,4	35,3	5,2	0,38	0,053
$\eta/\%$	13,2	9,7	6,3	3,8	1,8	0,68	0,19	0,03	0,01



$b = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$ odchylka od teorie 0,3%

$\sigma = 5 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ odchylka od teorie 13%



Závěr: Regresní funkce potvrzují, že vlnová délka λ_{max} , na které zahřátá tělesa nejvíce vyzařují, je nepřímo úměrná termodynamické teplotě, intenzita vyzařování roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty. Konstanta b z Wienova posunovacího zákona se od teorie liší o 0,3 %, Stefan-Boltzmannova konstanta σ je o 13 % nižší. Odchyšky jsou způsobeny přesností odečítání z monitoru a u druhé konstanty také tím, že jsme se omezili na interval vlnových délek 0 μm až 20 μm . Závislost účinnosti žárovky na T lze v uvedeném intervalu popsat polynomem třetího stupně. S růstem teploty účinnost rychle roste. Např. při teplotě 2500 K je však účinnost žárovky pouze 6,3 %. Žárovka se jeví jako dosti nevhodné zařízení. Používaný wolfram (ani jiné materiály) neumožňují z důvodu tání zahřátí na dostatečně vysokou teplotu.

Teplota slunečního povrchu je 5570 K a byla určena na dálku právě ze Stefan-Boltzmannova zákona. Účinnost Slunce vychází 46 % a nejvíce vyzařuje na vlnové délce 0,503 μm . Není náhodou, že lidské oko je nejcitlivější právě na tuto vlnovou délku, která odpovídá **zelenožluté barvě**.

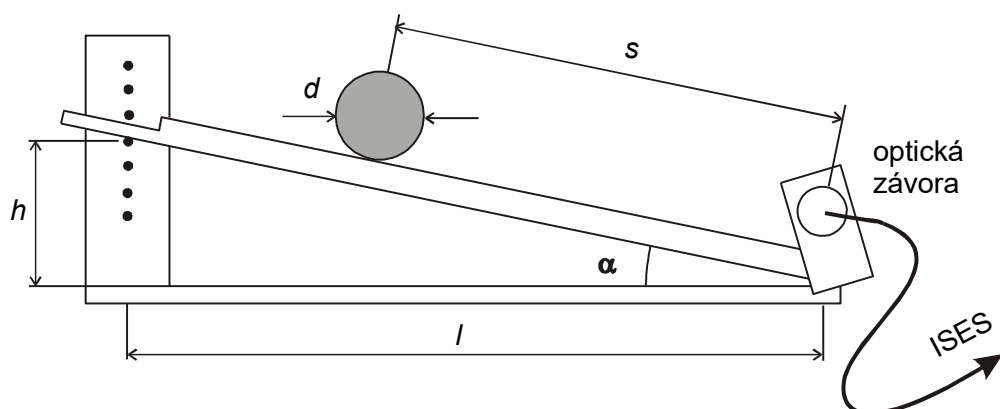
Přílohy:

A: Tvorba pomůcek

Souprava ISES obsahuje ovládací panel, do kterého se zasouvá řada modulů k měření fyzikálních veličin. Pomůcky k měření laboratorních prací je však třeba získat z jiných sad pomůcek nebo je vyrobit. Dále je uveden přehled pomůcek k jednotlivým úlohám, jenž umožní jejich opatření nebo výrobu.

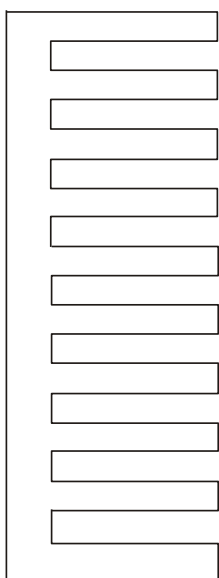
1. Kulička na nakloněné rovině

Je třeba získat dostatečně velké homogenní kuličky. Osvědčily se ocelové kuličky o průměru 28 mm ze starých vyřazených ložisek. Nakloněná rovina má délku přibližně 60 cm a jedná se o železný profil tvaru , který výborně vede kuličku. V dolní části je prostrčena tyčka, na kterou se připevní optická závora. Další části jsou dřevěné se zatlučenými hřebíky umožňující nastavení sklonu.



Paprsek IR záření musí být nastaven co nejbližší ke středu kuličky valící se přes optickou závoru. Učitel by si měl předem určit, v jaké poloze je kulička, když se paprsek právě přeruší a v jaké poloze je, když se opět obnoví. Vzdálenost mezi těmito polohami označíme studentům jako průměr kuličky. V našem případě tato hodnota vychází 26 mm, zatímco průměr kuličky měřený posuvným měřítkem je 28 mm. Tento jev je zapříčiněn především nenulovou šířkou paprsku i detektoru. Je vhodné, aby kulička po průchodu optickou závorou vypadávala na měkkou podložku, na níž se zastaví.

2. Volný pád

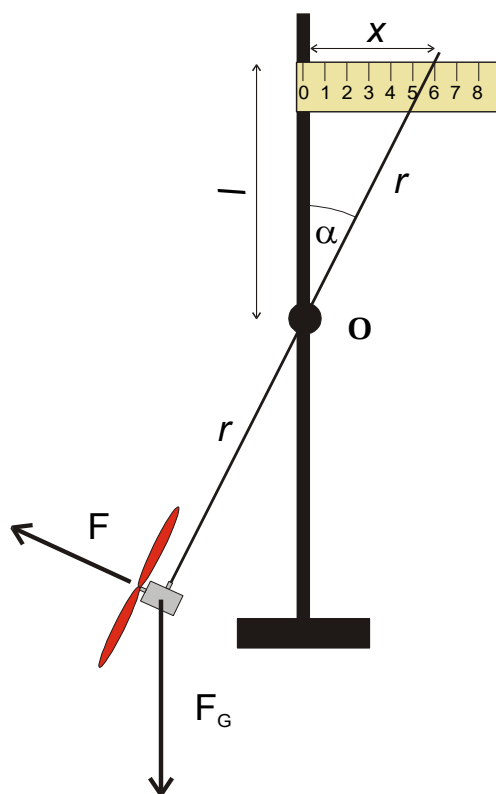


Těleso tvaru hřebene s 10 zuby je vyrobeno z tuhé plastické hmoty černé barvy. Šířka zubů i mezera mezi zuby je 1,0 cm. Při výrobě je třeba se snažit o maximální přesnost. Optická závora je upevněna v běžném stojanu. Na místo, kam padá hřeben, dáme měkkou podložku. Jako zátěž je použit hokejový puk se zavrtaným železným očkem, na němž je ještě očko z provázku. Tímto očkem se zátěž navléká na spodní zub hřebenu. Snažíme se vypouštět hřeben tak, aby při pádu zůstávaly zuby vodorovně.

Tvorba pomůcek

3. Vrtule

Vrtule i motorek byly zakoupeny v modelářských potřebách. Motorek je určen pro stejnosměrné napětí 12 V. Vrtule by měla být velká se širokými listy a je nalepena na ose motorku. Při testování za chodu se může ukázat, že se motorek příliš zahřívá. Vrtuli je třeba zkrátit, čímž se zvýší otáčky a motorek tolik nehřeje. Protože se vrtule může otáčet na obě strany, zvolíme takový směr, aby hnala vzduch na motorek a tím jej ochlazovala. Motorek je usazen v kroužku (plastová trubka na vodu), k němuž se připojuje rukojeť pomocí elektrikařské svorkovnice. Tím je umožněna rychlá výměna rukojeti za závěsný drát pro měření tažné síly.



Uprostřed závěsného drátu je provrtaná elektrikařská svorkovnice, kterou se prostrčí drát jako osa O . Proti vibracím se osvědčila korková zátka navlečná na osu, která omezuje pohyb po ose.

B: Popis systému ISES

Souprava ISES pro měření a řízení experimentů ve fyzice, chemii a biologii je nabízena ve třech variantách. Nejrozšířenější je tzv. **ISES - Základní souprava**. V poslední době si náročnější zákazníci častěji volí soupravu **ISES - Professional** v provedení ISA a ISES Professional v provedení PCI. Možná pro podmínky základní školy by vyhovovala i souprava **ISES - COM**, která má pouze vstupní kanály. (pozn.: souprava ISES - COM se od roku 2001 nevyrábí). Od roku 2001 se vyrábí souprava ISES PCI postupně pro operační systém Windows XP, Vista i Windows 7. ISES ISA se již nevyrábí, ale pokud ho školy mají je stále plnohodnotný měřicí program.

Soupravu ISES PCI je možno nainstalovat na počítače, které mají sběrnici PCI a 32-bitový operační systém Windows. Soupravy ISES ISA pracují na počítačích se sběrnicí ISA a pouze pod operačním systémem Win98. Samozřejmě na lepších počítačích je provozování soupravy ISES daleko příjemnější. Souprava ISES vám okamžitě vytvoří z Vašeho počítače osciloskop, multimetr, XY zapisovač, multifunkční generátor - (výstupní napětí - sinus, obdélník, pila, rozmítač aj.).

Souprava se skládá z **elektronické desky (ADDA převodník)**, která se nainstaluje do Vašeho počítače, z **ovládacího panelu**, kde se provádí propojení s experimentem a ze **sady modulů**, což jsou vlastně samostatné přístroje jako např. voltmetr, ampérmetr, siloměr, teploměr, snímač polohy, tlakoměr, mikrofon, měřič kapacit, manometr, relé, reproduktor, ohmetr, měřič kapacit, sonar, pH metr, konduktometr, snímač EKG, snímač srdečního tepu, atd.

Soupravu doplňuje **manuál s popisem 50 experimentů**, které si můžete sami podle podrobných návodů ověřit. Další **sbírka experimentů je z chemie** (50 experimentů). Třetí sbírka je **dalších 50 experimentů z fyziky**. Novinkou roku 2002 byla **sbírka laboratorních úloh (I) z elektřiny a magnetismu**, poslední v řadě je tato **sbírka laboratorních úloh (II) z fyziky**.

Soupravy ISES jsou nejrozšířenější v naší republice. Pracují na 450 školách. Instalace jsou většinou na středních školách a vysokých školách. V poslední době se zvyšuje počet instalací na základních školách. Většina instalací je po jedné „demonstrační“ soupravě ve třídě. Avšak stále více se objevují i **vícenásobné instalace ve třídě** pro „frontální práci“ - např. v Praze (gymnázium Nad Štolou a gymnázium Jana Nerudy), Brně, Pardubicích (gymnázium Dašická a SPŠE), Poděbradech, Vyškově, Liberci, Brandýse nad Labem, Kyjově aj. V Praze na gymnáziu Nad Štolou a na gymnáziu v Pardubicích je laboratoř, kde je 12 souprav ISES v jedné třídě, v Brně na gymnáziu M. Lercha je 10 souprav v Kyjově 7 souprav ISES Professional. Pro uživatele souprav je pořádán každoročně seminář, kde se učitelé proškolují a kde si vzájemně sdělují své zkušenosti.

Ovládání soupravy vlastně nevyžaduje téměř žádné počítačové dovednosti. Uživatel jenom spustí program ISES a potom se již pohybuje v experimentálním prostředí velmi podobném klasickému experimentování. Počítač zde slouží jako zobrazovač, paměťové médium, jako nástroj s dalšími zpracovatelskými funkcemi (aproximace, derivace, integrace, aj.).

Program ISES-WIN kromě standardního měření a zpracování podporuje **kommunikaci s internetem. Experimenty i laboratorní úlohy** lze pohodlně stahovat do svého počítače z internetu (viz <http://www.ises.info>). Pro podporu systému ISES jsme spustili WWW stránky <http://www.ises.info>. Naleznete zde i mnoho experimentů nejenom textově popsanych, ale i včetně naměřených experimentálních hodnot. Pokud máte hardware ISES, můžete svůj experiment porovnat se stáhnutým.

Od roku 2002 se zabýváme také **vzdálenými REÁLNÝMI experimenty**, které si může kdokoliv, kdykoliv a odkudkoliv vyzkoušet na adrese www.ises.info. K měření, řízení, ovládání Vám stačí pouhý internetový prohlížeč typu Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera aj.. v PC nebo NBK, nebo nově též v dotykových zařízeních iPad, či chytré telefony s OS Aneroid. K dispozici jsou tam i celé laboratorní úlohy včetně teorie, pracovních úkolů aj. Budete-li mít zájem si soupravu ISES vyzkoušet obraťte se na Dr. F. Lustiga, CSc., Matematicko-fyzikální fakulta UK Praha, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2, tel./fax 221 911 286. Mobil 602-858 056. e-mail: Frantisek.Lustig@mff.cuni.cz.