

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta - Katedra fyziky

Nakloněná rovina

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

Autor: Martin Kubíček

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá fyzikálním rozbořem a studiem jednoduchého stroje – nakloněné roviny. Součástí této úlohy je zkonstruovat potřebné zařízení, na němž budou po teoretickém rozboru provedeny praktické úlohy cílené na měření součinitele smykového tření a rovnoměrného zrychlení tělesa.

Abstract

This final project deals with physical analysis of simple machine - inclined plane. After theoretical analysis is necessary to build a measurement device. This device is used for measurement of friction coefficient and uniform acceleration in practical exercises.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 22. 4. 2010

Martin Kubíček

Poděkování

Vřele děkuji vedoucímu práce p. RNDr. Pavlu Kříži Ph.D. za velikou ochotu, cenné rady a připomínky při zpracování této závěrečné práce.

Obsah:

1	Úvod.....	6
2	Teoretický rozbor.....	7
2.1	Princip.....	7
2.2	Popis zařízení.....	11
2.2.1	Optické závory.....	12
2.2.2	Časovač PHYWE.....	13
2.2.3	Princip měření.....	13
3	Praktické úlohy.....	15
3.1	Měření součinitele smykového tření.....	15
3.1.1	Součinitel smykového tření plastu.....	16
3.1.2	Součinitel smykového tření PVC.....	18
3.1.3	Součinitel smykového tření dřeva.....	20
3.1.4	Součinitel smykového tření dřevotřísky.....	22
3.1.5	Součinitel smykového tření tvrdého papíru.....	24
3.1.6	Součinitel smykového tření polyuretanu.....	26
3.1.7	Souhrn naměřených výsledků.....	28
3.1.8	Diskuse.....	28
3.2	Měření závislosti součinitele smykového tření na hmotnosti tělesa.....	29
3.2.1	Hmotnost tělesa $m_1 = 239,8$ g.....	30
3.2.2	Hmotnost tělesa $m_2 = 167,5$ g.....	32
3.2.3	Hmotnost tělesa $m_3 = 125,7$ g.....	34
3.2.4	Hmotnost tělesa $m_4 = 81,5$ g.....	36
3.2.5	Souhrn naměřených výsledků.....	38
3.2.6	Diskuse.....	38
3.3	Měření závislosti zrychlení a součinitele smykového tření na úhlu.....	39
3.3.1	Úhel sklonu $\alpha = 18^\circ$	40
3.3.2	Úhel sklonu $\alpha = 24^\circ$	42
3.3.3	Úhel sklonu $\alpha = 37^\circ$	44
3.3.4	Úhel sklonu $\alpha = 40^\circ$	46
3.3.5	Úhel sklonu $\alpha = 45^\circ$	48
3.3.6	Úhel sklonu $\alpha = 50^\circ$	50
3.3.7	Úhel sklonu $\alpha = 55^\circ$	52
3.3.8	Souhrn výsledků.....	54
3.3.9	Diskuse.....	55
3.4	Vylepšení měření v budoucnu.....	56
4	Závěr.....	57
5	Seznam použité literatury.....	58

1 Úvod

Nakloněná rovina patří do skupiny jednoduchých mechanických strojů, mezi které se řadí i páka, kladka, kolo na hřídeli, klín a šroub. Jejich společným rysem je snadná konstrukce a jednoduchý princip. Toto zařízení každému pomáhá téměř každý den. A to většinou tím, že při jeho použití nám umožní působit na těleso menší silou, než by bylo nutno. Tato výhoda je však kompenzována tím, že musíme na těleso působit, i když menší silou, po delší dráze. Tzn. že mechanická práce je stejná, nebo dokonce větší, než bez použití jednoduchého stroje. Hlavním prvkem zařízení je rovina nakloněná vzhledem k horizontálnímu směru, po které se pohybuje fyzikální těleso, ať už směrem nahoru, či dolů.

Cílem bakalářské práce bylo zkonstruovat nakloněnou rovinu s proměnným úhlem sklonu dostatečné délky a s možností připojení zařízení na měření času pro pohyb. Zařízení bude dále sloužit jako pomůcka dalším studentům v měřících laboratořích.

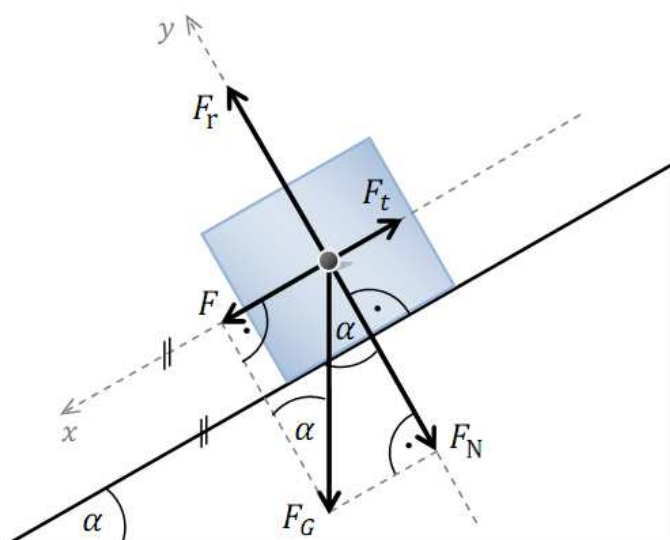
Větší, praktická část práce sestávala z vytvoření a vyhodnocení několika úloh s využitím tohoto stroje, s možností ověřit fyzikální zákony a principy spojené s touto problematikou.

2 Teoretický rozbor

2.1 Princip

Na těleso nacházející se na nakloněné rovině působí tíha G , kterou je možno rozložit do dvou kolmých směrů: na normálovou sílu F_N (síla kolmá k nakloněné rovině) a pohybovou sílu F (síla rovnoběžná s nakloněnou rovinou), která způsobuje pohyb tělesa dolů po nakloněné rovině, viz obr. č. 2.1.1. Libovolnou sílu (a tedy i tíhu tělesa G) lze rozložit nekonečně mnoha způsoby na různý počet sil, které po zpětném složení budou mít stejný směr a stejnou velikost jako síla původní. Právě rozklad na tyto dvě navzájem kolmé složky je v tomto případě jednak jednoduchý na počítání a jednak obě získané složky tíhové síly mají fyzikální smysl. Na těleso pohybující se po nakloněné rovině, krom jiných sil, působí i síla třecí F_t , jejíž působiště je na stykové ploše obou těles, a síla reakce podložky F_r , která je stejně velká jako síla F_N , avšak působí v opačném směru .

Za zmínění také stojí odporová síla vzduchu, jako příklad další síly, působící na pohybující se předmět. Ta je však v tomto případě zanedbatelná a nebude na ni brán zřetel.



Obr. č. 2.1.1 Rozložení sil působících na těleso

Pro tyto síly můžeme aplikovat druhý Newtonův zákon síly:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}. \quad (1)$$

Za předpokladu, že hmotnost tělesa m bude konstantní, platí:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{m \cdot d\vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a}. \quad (2)$$

Ze vztahu (2) vyplývá, že změna hybnosti je přímo úměrná síle a děje se tak ve směru působení síly. Zvolíme-li orientaci soustavy souřadnic tak, že osa x je rovnoběžná s nakloněnou rovinou, osa y je kolmá k nakloněné rovině a osa z je kolmá jak k ose x , tak k ose y , můžeme vektorovou rovnici (2) rozložit na tři rovnice skalární:

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= F - F_t, \\ m \cdot a_y &= F_r - F_N, \\ m \cdot a_z &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Pro jednotlivé síly platí tyto všeobecné fyzikální vztahy:

$$\begin{aligned} F &= F_G \cdot \sin \alpha, \\ F_t &= f \cdot F_N, \\ F_r &= F_N, \\ F_N &= F_G \cdot \cos \alpha, \\ F_G &= m \cdot g. \end{aligned} \quad (4)$$

Ty dosadíme do skalárních rovnic (3).

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \\ m \cdot a_y &= 0, \\ m \cdot a_z &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Z druhé a třetí skalární rovnice se $a_z = 0$, stejně tak $a_y = 0$. Pro rovnoměrně zrychlený pohyb na nakloněné rovině můžeme napsat výsledný vztah:

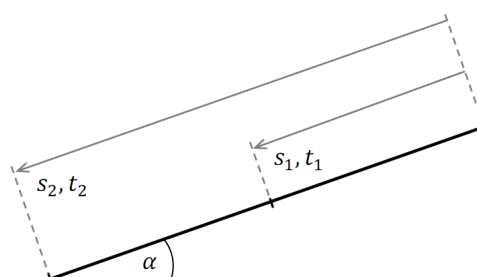
$$a = a_x = g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha). \quad (6)$$

Na pravé straně vystupují samé konstanty, tzn. že se jedná o rovnoměrně zrychlený pohyb. Pro něj se dají z kinematiky odvodit tyto vztahy pro okamžitou rychlost v a dráhu s :

$$v = v_0 + a \cdot t, \quad (7)$$

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2, \quad (8)$$

kde v_0 je počáteční rychlost, s_0 počáteční dráha, t je čas.



Obr. č. 2.1.2 Nákres nakloněné roviny
rozdělené na dva úseky

Budeme-li mít dráhu, kterou těleso urazí, rozdělenou alespoň na dva úseky, viz obr. č. 2.1.2, a budeme-li znát dobu, za kterou je dané těleso urazí, můžeme tak ze vztahů (7) a (8) spočítat zrychlení tělesa. Tedy

$$s_1 = v_0 \cdot t_1 + \frac{1}{2} a \cdot t_1^2 \Rightarrow v_0 = \frac{s_1 - \frac{1}{2} a t_1^2}{t_1}, \quad (9)$$

$$s_2 = v_0 \cdot t_2 + \frac{1}{2} a \cdot t_2^2 \Rightarrow v_0 = \frac{s_2 - \frac{1}{2} a t_2^2}{t_2}. \quad (10)$$

Dostali jsme tak dvě rovnice (9) a (10) o dvou neznámých - počáteční rychlost tělesa v_0 a zrychlení a , které můžeme z rovnic vyjádřit:

$$a = \frac{2 \cdot (s_2 t_1 - s_1 t_2)}{t_1 t_2 \cdot (t_2 - t_1)}. \quad (11)$$

Je-li známé zrychlení tělesa, můžeme ze vztahu (6) spočítat součinitele smykového tření:

$$f = \frac{g \cdot \sin \alpha - a}{g \cdot \cos \alpha},$$
$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{a}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (12)$$

kde g je tíhového zrychlení tělesa.

2.2 Popis zařízení

Zkonstruovaný jednoduchý stroj je vidět na obr. č. 2.2.1. K realizaci bylo použito borového dřeva, které je mechanicky opracované. Povrch, po kterém jsou spouštěna tělesa, je bez jakékoliv jiné úpravy. Zbylá část konstrukce je nalakována bezbarvým lakem, aby nedocházelo ke zbytečnému znečišťování, protože celé zařízení bude sloužit jako pomůcka dalším studentům ve fyzikálních praktikách.

Pohyblivé rameno, které má délku 2,3 m a šířku 0,1 m je z boku doplněno malými mantinely, aby nedocházelo k vypadávání těles. Na zařízení je možno nastavit libovolné úhly v rozmezí od 5° do 55° . K tomu slouží vysouvací teleskopická tyč, která je na jedné straně pevně připevněna na pohyblivou část konstrukce. Druhou stranu tyče lze pro nastavení potřebné velikosti úhlů zapřít na podstavci ve dvou místech. Pro měření úhlu sklonu nakloněné roviny bylo používáno úhloměru a vodováhy (obr. č. 2.2.2). Po jejich přiložení a vyrovnaní můžeme jednoduše odečíst nastavený úhel.

Optické závory jsou našroubovány na závitové tyče, které se připevní pomocí svorek v libovolných vzdálenostech od sebe.



Obr. č. 2.2.1 Zkonstruovaná nakloněná rovina



Obr.č. 2.2.2 Pomůcka pro měření úhlů

2.2.1 Optické závory

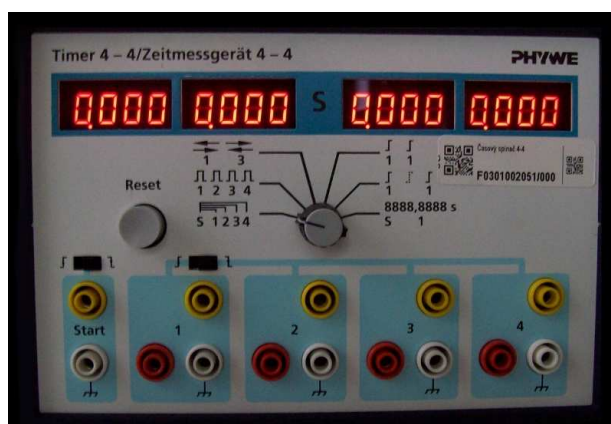
Tyto jednocestné optické snímače pracují na principu detekce existence nebo měření intenzity světelného paprsku dopadajícího na optický přijímač. Projde-li závorou nějaký předmět, optický přijímač zaregistruje zmenšenou, nebo žádnou intenzitu světelného paprsku. Připojené zařízení tak dostane informaci o přerušení paprsku, kterou dále vyhodnotí. Závory se k měřicímu zařízení připojí pomocí tří vstupů: napájení +5 V, zem (červená a modrá zdířka) a výstupní signál (žlutá zdířka).



Obr. č. 2.2.3 Detail optické závory a držáku

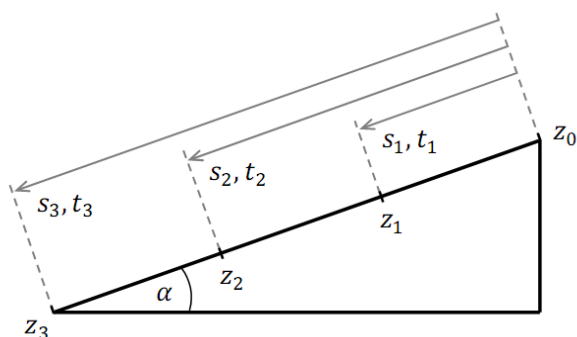
2.2.2 Časovač PHYWE

Jedná se o školní měřicí přístroj, jehož parametry dostatečně splňují požadavky pro měření úloh na nakloněné rovině. Na tento časovač mohou být připojeny maximálně čtyři optické závory pro měření času a jedna optická závora, která může spouštět měření. Přístroj má tedy čtyři displeje a měří časy od 0,000 s do 9,999 s. Při změně nastavení časového rozsahu a snížení počtu závor od 0,0000 s do 9999,9999 s.



Obr. č. 2.2.4 Detail časovače PHYWE

2.2.3 Princip měření



Obr. č. 2.2.5 Schématický náčrt rozmístění optických závor

Na nakloněné rovině jsou umístěny čtyři optické závory: z_0, z_1, z_2, z_3 .

Za předpokladu, že závora z_0 spouští měření časovače, rozdělíme celkovou dráhu na tři úseky, kterým odpovídají časy t_1, t_2, t_3 , respektive dráhy s_1, s_2, s_3 (viz obr. č. 2.2.5).

Na základě těchto časů, a dosazením zbylých veličin podle vztahu (8), vzniknou tři obdobné rovnice (13), podle kterých budeme schopni spočítat zrychlení tělesa.

$$\begin{aligned} s_1 &= v_0 \cdot t_1 + \frac{1}{2} a \cdot t_1^2 \Rightarrow v_0 = \frac{s_1 - \frac{1}{2} a t_1^2}{t_1}, \\ s_2 &= v_0 \cdot t_2 + \frac{1}{2} a \cdot t_2^2 \Rightarrow v_0 = \frac{s_2 - \frac{1}{2} a t_2^2}{t_2}, \\ s_3 &= v_0 \cdot t_3 + \frac{1}{2} a \cdot t_3^2 \Rightarrow v_0 = \frac{s_3 - \frac{1}{2} a t_3^2}{t_3}. \end{aligned} \quad (13)$$

Protože počítáme s dvěma úseky s_1 a s_2 , dostaneme tak v souladu se vztahem (11) výsledný vzorec, který použijeme pro výpočet zrychlení tělesa pro tyto dva úseky, což je evidentní v následujícím vztahu:

$$a_{12} = \frac{2 \cdot (s_2 t_1 - s_1 t_2)}{t_1 t_2 \cdot (t_2 - t_1)}. \quad (14)$$

Analogicky vyjádříme i vztahy (15) a (16), kdy kombinací úseků s_1 a s_3 , s_2 a s_3 získáme další vzorce pro výpočet zrychlení tělesa pro danou kombinaci úseků:

$$a_{13} = \frac{2 \cdot (s_3 t_1 - s_1 t_3)}{t_1 t_3 \cdot (t_3 - t_1)}, \quad (15)$$

$$a_{23} = \frac{2 \cdot (s_3 t_2 - s_2 t_3)}{t_2 t_3 \cdot (t_3 - t_2)}. \quad (16)$$

Pro výpočet součinitele smykového tření je do vztahu (12), jako tíhové zrychlení tělesa, dosazována zaokrouhlená hodnota $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

3 Praktické úlohy

3.1 Měření součinitele smykového tření

Smykové tření je fyzikální jev, který vzniká při posouvání (smýkání) jednoho tělesa po povrchu druhého tělesa. Příčinou jsou nerovnosti obou styčných ploch, respektive působíště tření, kterými se tělesa vzájemně dotýkají. Směr třecí síly je vždy opačný, než je směr rychlosti tělesa.

V této úloze byl studován součinitel smykového tření těles z šesti různých materiálů, která se pohybují po dřevěném povrchu zkonstruované nakloněné roviny pod úhlem $\alpha = 30^\circ$. Pomocí digitálního časovače PHYWE byly měřeny časy, za které zkoumané těleso urazilo dráhu od závory (z_0), která spouštěla měření, k závoře první (čas t_1), ke druhé (čas t_2) a ke třetí (čas t_3). Výsledkem každého měření byly tři časy, z kterých se počítalo zrychlení tělesa a následně podle vztahu (12) součinitel smykového tření f . Pro každý předmět ve tvaru kvádrů bylo provedeno padesát měření.

Měřenými materiály byly:

- a) plast
- b) PVC
- c) dřevo
- d) dřevotříska
- e) tvrdý papír
- f) polyuretanová pěna

3.1.1 Součinitel smykového tření plastu

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,705 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,390 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,105 \text{ m}$$

Tabulka 3.1.1 Naměřené a vypočtené hodnoty – plast

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,497	0,773	0,999	2,751	2,743	2,734	0,2534	0,2543	0,2555
0,486	0,769	0,998	2,522	2,573	2,635	0,2803	0,2744	0,2671
0,463	0,736	0,960	2,681	2,696	2,715	0,2617	0,2599	0,2576
0,528	0,813	1,044	2,628	2,640	2,654	0,2679	0,2665	0,2648
0,475	0,748	0,971	2,740	2,757	2,776	0,2547	0,2528	0,2504
0,487	0,768	0,997	2,578	2,603	2,633	0,2738	0,2709	0,2674
0,490	0,765	0,987	2,751	2,793	2,844	0,2535	0,2485	0,2424
0,481	0,753	0,974	2,796	2,821	2,853	0,2481	0,2451	0,2414
0,482	0,754	0,976	2,800	2,810	2,822	0,2476	0,2465	0,2450
0,477	0,750	0,972	2,750	2,778	2,814	0,2536	0,2502	0,2461
0,465	0,737	0,960	2,720	2,734	2,751	0,2571	0,2555	0,2535
0,477	0,753	0,978	2,666	2,692	2,724	0,2634	0,2604	0,2567
0,471	0,743	0,964	2,750	2,786	2,831	0,2536	0,2493	0,2440
0,474	0,750	0,973	2,652	2,710	2,781	0,2651	0,2583	0,2499
0,465	0,741	0,964	2,607	2,675	2,760	0,2704	0,2623	0,2523
0,470	0,747	0,971	2,605	2,666	2,742	0,2706	0,2634	0,2545
0,483	0,758	0,982	2,721	2,741	2,766	0,2570	0,2546	0,2516
0,478	0,751	0,974	2,754	2,767	2,783	0,2530	0,2515	0,2496
0,472	0,744	0,966	2,755	2,775	2,800	0,2530	0,2506	0,2476
0,470	0,744	0,965	2,688	2,753	2,833	0,2608	0,2532	0,2438
0,478	0,751	0,970	2,754	2,826	2,915	0,2530	0,2446	0,2341
0,476	0,748	0,969	2,774	2,804	2,842	0,2508	0,2472	0,2427
0,474	0,746	0,968	2,764	2,782	2,805	0,2519	0,2497	0,2471
0,478	0,749	0,969	2,811	2,841	2,878	0,2463	0,2428	0,2385
0,472	0,749	0,976	2,615	2,631	2,652	0,2695	0,2675	0,2651

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,490	0,768	0,995	2,670	2,680	2,693	0,2630	0,2617	0,2602
0,488	0,764	0,989	2,715	2,730	2,747	0,2576	0,2560	0,2539
0,489	0,767	0,994	2,666	2,677	2,691	0,2635	0,2621	0,2605
0,505	0,785	1,012	2,676	2,698	2,725	0,2622	0,2596	0,2564
0,514	0,794	1,021	2,707	2,722	2,741	0,2586	0,2568	0,2546
0,505	0,786	1,017	2,651	2,632	2,609	0,2653	0,2674	0,2701
0,498	0,782	1,011	2,548	2,598	2,660	0,2773	0,2714	0,2641
0,481	0,750	0,972	2,882	2,851	2,814	0,2380	0,2416	0,2461
0,484	0,754	0,979	2,866	2,802	2,726	0,2399	0,2474	0,2564
0,484	0,767	0,994	2,513	2,593	2,691	0,2814	0,2721	0,2605
0,496	0,770	0,994	2,802	2,797	2,790	0,2475	0,2481	0,2488
0,485	0,755	0,980	2,870	2,805	2,728	0,2394	0,2470	0,2561
0,487	0,757	0,980	2,878	2,841	2,796	0,2385	0,2428	0,2481
0,486	0,756	0,980	2,874	2,823	2,762	0,2389	0,2449	0,2521
0,478	0,748	0,971	2,840	2,811	2,776	0,2430	0,2463	0,2504
0,485	0,756	0,983	2,841	2,762	2,668	0,2428	0,2521	0,2632
0,485	0,763	0,987	2,649	2,706	2,777	0,2655	0,2588	0,2504
0,487	0,756	0,981	2,907	2,826	2,730	0,2351	0,2445	0,2559
0,481	0,749	0,970	2,911	2,881	2,844	0,2346	0,2381	0,2424
0,484	0,756	0,982	2,809	2,759	2,699	0,2466	0,2525	0,2596
0,496	0,768	0,991	2,857	2,839	2,818	0,2410	0,2430	0,2455
0,487	0,756	0,976	2,907	2,900	2,892	0,2351	0,2358	0,2368
0,494	0,770	0,998	2,740	2,707	2,667	0,2548	0,2586	0,2633
0,481	0,754	0,980	2,768	2,735	2,694	0,2515	0,2554	0,2601
0,482	0,754	0,979	2,800	2,767	2,726	0,2476	0,2516	0,2564

Průměrné zrychlení tělesa je $(2,748 \pm 0,005) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $2,513 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $2,915 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2538 \pm 0,0005$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2341 do 0,2814.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.1.2 Součinitel smykového tření PVC

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,404 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,110 \text{ m}$$

Tabulka 3.1.2 Naměřené a vypočtené hodnoty – PVC

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,472	0,766	0,998	2,380	2,400	2,425	0,2971	0,2948	0,2918
0,479	0,776	1,009	2,343	2,377	2,420	0,3015	0,2975	0,2924
0,473	0,767	0,997	2,385	2,429	2,486	0,2965	0,2913	0,2847
0,468	0,759	0,989	2,434	2,448	2,467	0,2908	0,2891	0,2869
0,472	0,762	0,992	2,479	2,477	2,474	0,2854	0,2857	0,2861
0,472	0,761	0,992	2,504	2,477	2,442	0,2825	0,2857	0,2898
0,477	0,773	1,007	2,357	2,369	2,385	0,2999	0,2984	0,2965
0,464	0,754	0,984	2,438	2,445	2,454	0,2903	0,2895	0,2884
0,465	0,757	0,989	2,393	2,397	2,403	0,2956	0,2951	0,2944
0,466	0,755	0,984	2,474	2,479	2,487	0,2861	0,2854	0,2846
0,469	0,763	0,998	2,364	2,350	2,333	0,2989	0,3006	0,3027
0,460	0,747	0,975	2,493	2,495	2,496	0,2838	0,2836	0,2834
0,468	0,759	0,991	2,434	2,422	2,408	0,2908	0,2921	0,2938
0,469	0,757	0,985	2,515	2,518	2,521	0,2812	0,2809	0,2805
0,463	0,750	0,979	2,510	2,494	2,474	0,2819	0,2837	0,2861
0,455	0,740	0,967	2,518	2,514	2,508	0,2808	0,2814	0,2820
0,461	0,746	0,971	2,552	2,567	2,586	0,2769	0,2751	0,2728
0,466	0,755	0,982	2,474	2,506	2,547	0,2861	0,2823	0,2775
0,459	0,747	0,974	2,462	2,490	2,527	0,2875	0,2841	0,2798
0,455	0,741	0,966	2,491	2,528	2,574	0,2840	0,2797	0,2743
0,457	0,743	0,968	2,503	2,536	2,579	0,2826	0,2787	0,2737
0,458	0,744	0,970	2,508	2,527	2,550	0,2820	0,2798	0,2771
0,462	0,750	0,977	2,478	2,503	2,535	0,2856	0,2826	0,2789
0,458	0,744	0,971	2,508	2,513	2,519	0,2820	0,2814	0,2807
0,459	0,744	0,971	2,541	2,531	2,519	0,2782	0,2793	0,2807
0,470	0,758	0,985	2,520	2,535	2,554	0,2806	0,2789	0,2766

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,470	0,757	0,983	2,546	2,562	2,582	0,2776	0,2757	0,2733
0,474	0,764	0,992	2,489	2,511	2,538	0,2843	0,2817	0,2785
0,473	0,769	1,001	2,337	2,379	2,432	0,3022	0,2973	0,2910
0,461	0,749	0,977	2,473	2,485	2,502	0,2862	0,2847	0,2828
0,468	0,757	0,985	2,484	2,501	2,521	0,2848	0,2829	0,2805
0,454	0,738	0,961	2,539	2,579	2,630	0,2783	0,2737	0,2677
0,449	0,736	0,961	2,429	2,487	2,560	0,2913	0,2845	0,2759
0,472	0,761	0,989	2,504	2,516	2,531	0,2825	0,2811	0,2793
0,471	0,760	0,988	2,499	2,512	2,529	0,2830	0,2815	0,2796
0,471	0,758	0,986	2,551	2,539	2,524	0,2770	0,2784	0,2802
0,476	0,768	0,998	2,449	2,466	2,488	0,2890	0,2870	0,2844
0,479	0,774	1,010	2,390	2,364	2,332	0,2959	0,2990	0,3028
0,475	0,767	0,997	2,444	2,462	2,486	0,2896	0,2874	0,2847
0,461	0,750	0,976	2,447	2,499	2,565	0,2892	0,2831	0,2753
0,481	0,777	1,008	2,376	2,421	2,479	0,2976	0,2923	0,2855
0,457	0,748	0,979	2,373	2,389	2,409	0,2979	0,2961	0,2937
0,475	0,769	1,001	2,395	2,411	2,432	0,2953	0,2934	0,2910
0,476	0,771	1,004	2,376	2,390	2,408	0,2976	0,2959	0,2938
0,471	0,766	0,997	2,350	2,396	2,454	0,3006	0,2952	0,2884
0,466	0,756	0,984	2,448	2,479	2,519	0,2891	0,2854	0,2807
0,479	0,779	1,016	2,273	2,292	2,316	0,3097	0,3075	0,3046
0,469	0,765	1,000	2,316	2,326	2,338	0,3047	0,3035	0,3021
0,471	0,762	0,991	2,449	2,473	2,503	0,2890	0,2862	0,2826
0,471	0,763	0,993	2,424	2,447	2,476	0,2919	0,2892	0,2858

Průměrné zrychlení tělesa je $(2,466 \pm 0,004) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $2,273 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $2,630 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2870 \pm 0,0004$.

Interval vypočtených hodnot je od $0,2677$ do $0,3097$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.1.3 Součinitel smykového tření dřeva

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,655 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,352 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,038 \text{ m}$$

Tabulka 3.1.3 Naměřené a vypočtené hodnoty - dřevo

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,537	0,849	1,090	2,245	2,253	2,265	0,3130	0,3120	0,3107
0,559	0,875	1,120	2,230	2,220	2,208	0,3148	0,3159	0,3174
0,556	0,869	1,115	2,279	2,234	2,177	0,3090	0,3143	0,3210
0,515	0,820	1,057	2,315	2,316	2,317	0,3048	0,3047	0,3045
0,544	0,855	1,095	2,285	2,291	2,298	0,3083	0,3076	0,3068
0,507	0,815	1,056	2,221	2,215	2,207	0,3158	0,3166	0,3175
0,499	0,803	1,043	2,274	2,245	2,208	0,3096	0,3130	0,3173
0,511	0,817	1,055	2,279	2,282	2,286	0,3091	0,3087	0,3082
0,510	0,818	1,058	2,233	2,235	2,237	0,3145	0,3142	0,3139
0,504	0,810	1,049	2,251	2,250	2,247	0,3123	0,3125	0,3127
0,503	0,809	1,046	2,247	2,269	2,297	0,3127	0,3102	0,3069
0,499	0,801	1,037	2,318	2,313	2,307	0,3044	0,3050	0,3057
0,507	0,812	1,049	2,285	2,292	2,302	0,3084	0,3074	0,3062
0,508	0,812	1,047	2,310	2,329	2,355	0,3054	0,3031	0,3001
0,507	0,813	1,050	2,263	2,281	2,304	0,3109	0,3088	0,3060
0,506	0,812	1,048	2,259	2,289	2,328	0,3113	0,3078	0,3032
0,500	0,802	1,038	2,322	2,316	2,309	0,3039	0,3046	0,3054
0,508	0,812	1,048	2,310	2,318	2,328	0,3054	0,3044	0,3032
0,497	0,804	1,042	2,201	2,227	2,261	0,3182	0,3151	0,3111
0,504	0,808	1,043	2,294	2,317	2,347	0,3072	0,3045	0,3010
0,505	0,810	1,048	2,277	2,275	2,273	0,3093	0,3095	0,3097
0,511	0,816	1,052	2,300	2,315	2,336	0,3066	0,3047	0,3023
0,516	0,825	1,064	2,234	2,252	2,275	0,3142	0,3122	0,3095
0,507	0,812	1,047	2,285	2,315	2,355	0,3084	0,3048	0,3001
0,504	0,812	1,051	2,209	2,227	2,251	0,3173	0,3151	0,3123
0,509	0,815	1,052	2,271	2,287	2,308	0,3100	0,3080	0,3056

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,494	0,798	1,035	2,253	2,262	2,275	0,3121	0,3110	0,3095
0,498	0,801	1,036	2,292	2,310	2,334	0,3075	0,3053	0,3026
0,510	0,816	1,054	2,275	2,279	2,284	0,3095	0,3090	0,3084
0,502	0,803	1,040	2,352	2,323	2,285	0,3004	0,3039	0,3083
0,504	0,808	1,044	2,294	2,306	2,321	0,3072	0,3058	0,3041
0,527	0,839	1,080	2,212	2,228	2,249	0,3168	0,3150	0,3125
0,505	0,808	1,044	2,320	2,320	2,321	0,3042	0,3041	0,3041
0,505	0,806	1,041	2,364	2,355	2,343	0,2990	0,3001	0,3014
0,515	0,820	1,057	2,315	2,316	2,317	0,3048	0,3047	0,3045
0,499	0,804	1,042	2,252	2,256	2,261	0,3122	0,3117	0,3111
0,538	0,851	1,094	2,228	2,225	2,220	0,3150	0,3154	0,3159
0,502	0,802	1,037	2,375	2,358	2,336	0,2977	0,2998	0,3023
0,512	0,818	1,054	2,282	2,307	2,339	0,3086	0,3057	0,3019
0,501	0,804	1,040	2,304	2,308	2,313	0,3061	0,3056	0,3050
0,521	0,828	1,067	2,294	2,288	2,280	0,3073	0,3080	0,3089
0,501	0,802	1,036	2,348	2,354	2,362	0,3008	0,3001	0,2992
0,503	0,805	1,040	2,334	2,337	2,342	0,3025	0,3021	0,3016
0,509	0,813	1,049	2,314	2,321	2,330	0,3049	0,3041	0,3030
0,492	0,792	1,026	2,333	2,337	2,342	0,3026	0,3022	0,3015
0,499	0,801	1,035	2,318	2,336	2,360	0,3044	0,3022	0,2994
0,495	0,797	1,034	2,301	2,289	2,273	0,3064	0,3079	0,3097
0,495	0,796	1,031	2,323	2,324	2,324	0,3038	0,3038	0,3037
0,517	0,823	1,061	2,301	2,299	2,297	0,3065	0,3067	0,3069
0,492	0,793	1,028	2,310	2,314	2,318	0,3053	0,3049	0,3045

Průměrné zrychlení tělesa je $(2,291 \pm 0,002) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $2,177 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $2,375 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,3076 \pm 0,0002$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2977 do 0,3210.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

3.1.4 Součinitel smykového tření dřevotřísky

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,735 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,446 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,109 \text{ m}$$

Tabulka 3.1.4 Naměřené a vypočtené hodnoty - dřevotříska

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,675	1,011	1,255	2,032	2,040	2,051	0,3381	0,3372	0,3359
0,664	0,991	1,228	2,154	2,165	2,180	0,3237	0,3224	0,3207
0,699	1,036	1,287	2,043	1,997	1,936	0,3368	0,3422	0,3494
0,701	1,039	1,285	2,031	2,030	2,029	0,3382	0,3383	0,3385
0,699	1,035	1,286	2,057	2,005	1,935	0,3351	0,3413	0,3495
0,663	0,979	1,214	2,332	2,282	2,215	0,3028	0,3087	0,3166
0,667	1,000	1,243	2,066	2,065	2,063	0,3340	0,3342	0,3344
0,643	0,961	1,195	2,274	2,253	2,224	0,3096	0,3121	0,3155
0,657	0,971	1,204	2,360	2,314	2,253	0,2995	0,3049	0,3121
0,688	1,007	1,237	2,305	2,319	2,339	0,3060	0,3043	0,3019
0,625	0,939	1,175	2,318	2,251	2,161	0,3044	0,3124	0,3229
0,644	0,960	1,194	2,310	2,273	2,223	0,3054	0,3097	0,3156
0,627	0,941	1,177	2,321	2,253	2,163	0,3040	0,3121	0,3227
0,613	0,940	1,185	2,075	2,031	1,971	0,3330	0,3383	0,3453
0,638	0,950	1,185	2,372	2,295	2,193	0,2980	0,3071	0,3192
0,738	1,073	1,312	2,100	2,131	2,174	0,3301	0,3265	0,3213
0,633	0,948	1,178	2,312	2,309	2,304	0,3051	0,3055	0,3060
0,706	1,024	1,259	2,334	2,293	2,239	0,3026	0,3073	0,3138
0,630	0,942	1,175	2,361	2,305	2,231	0,2993	0,3059	0,3147
0,622	0,933	1,163	2,368	2,335	2,292	0,2986	0,3024	0,3075
0,633	0,948	1,180	2,312	2,289	2,258	0,3051	0,3078	0,3114
0,623	0,936	1,170	2,333	2,277	2,202	0,3027	0,3092	0,3180
0,634	0,952	1,188	2,262	2,224	2,172	0,3110	0,3155	0,3216
0,622	0,937	1,171	2,296	2,256	2,203	0,3071	0,3117	0,3179
0,700	1,037	1,285	2,044	2,021	1,991	0,3367	0,3393	0,3430
0,649	0,980	1,226	2,072	2,037	1,990	0,3333	0,3375	0,3431

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,615	0,935	1,168	2,196	2,208	2,224	0,3187	0,3174	0,3155
0,623	0,946	1,186	2,160	2,126	2,081	0,3231	0,3270	0,3323
0,625	0,947	1,183	2,180	2,175	2,168	0,3207	0,3213	0,3221
0,625	0,938	1,169	2,336	2,309	2,273	0,3023	0,3054	0,3097
0,608	0,917	1,147	2,382	2,337	2,277	0,2969	0,3022	0,3093
0,620	0,929	1,159	2,401	2,353	2,288	0,2946	0,3003	0,3079
0,593	0,894	1,111	2,512	2,544	2,588	0,2816	0,2778	0,2726
0,604	0,906	1,127	2,511	2,503	2,492	0,2817	0,2827	0,2840
0,622	0,928	1,154	2,461	2,428	2,384	0,2876	0,2914	0,2967
0,632	0,950	1,186	2,259	2,221	2,171	0,3114	0,3158	0,3218
0,635	0,952	1,186	2,280	2,253	2,217	0,3089	0,3120	0,3164
0,625	0,939	1,172	2,318	2,280	2,228	0,3044	0,3089	0,3150
0,628	0,946	1,185	2,253	2,188	2,102	0,3121	0,3197	0,3298
0,708	1,040	1,285	2,122	2,091	2,048	0,3275	0,3312	0,3362
0,635	0,951	1,183	2,298	2,282	2,261	0,3068	0,3086	0,3112
0,632	0,940	1,170	2,437	2,378	2,298	0,2904	0,2974	0,3068
0,612	0,926	1,161	2,297	2,242	2,170	0,3069	0,3133	0,3218
0,622	0,932	1,164	2,386	2,325	2,244	0,2964	0,3035	0,3131
0,617	0,924	1,153	2,434	2,380	2,307	0,2907	0,2971	0,3057
0,635	0,950	1,185	2,315	2,263	2,193	0,3048	0,3109	0,3192
0,638	0,954	1,191	2,302	2,238	2,152	0,3063	0,3139	0,3239
0,641	0,954	1,185	2,358	2,328	2,286	0,2997	0,3033	0,3082
0,634	0,945	1,174	2,385	2,360	2,325	0,2965	0,2995	0,3035
0,620	0,930	1,154	2,383	2,405	2,435	0,2968	0,2942	0,2906

Průměrné zrychlení tělesa je $(2,242 \pm 0,007) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $1,935 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $2,588 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,3 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,3148 \pm 0,0005$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2726 do 0,3495.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.1.5 Součinitel smykového tření tvrdého papíru

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,735 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,446 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,109 \text{ m}$$

Tabulka 3.1.5 Naměřené a vypočtené hodnoty - papír

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,554	0,856	1,080	2,401	2,380	2,353	0,2947	0,2971	0,3003
0,578	0,881	1,109	2,440	2,373	2,284	0,2900	0,2979	0,3084
0,594	0,896	1,121	2,493	2,444	2,378	0,2838	0,2896	0,2974
0,603	0,907	1,129	2,469	2,468	2,466	0,2866	0,2867	0,2870
0,575	0,870	1,093	2,602	2,515	2,399	0,2710	0,2813	0,2949
0,575	0,869	1,088	2,624	2,574	2,506	0,2684	0,2743	0,2822
0,597	0,898	1,119	2,519	2,504	2,484	0,2808	0,2825	0,2849
0,575	0,873	1,094	2,538	2,503	2,456	0,2786	0,2826	0,2881
0,588	0,884	1,105	2,606	2,548	2,469	0,2705	0,2774	0,2866
0,573	0,866	1,085	2,642	2,582	2,503	0,2663	0,2733	0,2827
0,578	0,865	1,078	2,788	2,739	2,673	0,2491	0,2548	0,2626
0,592	0,888	1,109	2,614	2,554	2,474	0,2696	0,2766	0,2861
0,561	0,856	1,077	2,570	2,512	2,434	0,2747	0,2816	0,2907
0,573	0,864	1,082	2,687	2,619	2,528	0,2610	0,2690	0,2797
0,565	0,845	1,061	2,931	2,770	2,560	0,2322	0,2512	0,2759
0,558	0,848	1,065	2,676	2,616	2,535	0,2623	0,2694	0,2788
0,568	0,855	1,067	2,768	2,736	2,692	0,2514	0,2552	0,2604
0,575	0,878	1,092	2,433	2,526	2,658	0,2908	0,2799	0,2644
0,555	0,844	1,059	2,692	2,648	2,588	0,2604	0,2656	0,2726
0,572	0,863	1,079	2,684	2,642	2,584	0,2613	0,2663	0,2731
0,561	0,848	1,064	2,753	2,672	2,564	0,2532	0,2627	0,2754
0,575	0,864	1,082	2,736	2,647	2,528	0,2552	0,2657	0,2797
0,571	0,873	1,090	2,445	2,496	2,567	0,2895	0,2835	0,2751
0,571	0,861	1,077	2,705	2,652	2,581	0,2588	0,2651	0,2734
0,582	0,883	1,109	2,490	2,424	2,337	0,2842	0,2919	0,3021
0,555	0,844	1,058	2,692	2,660	2,618	0,2604	0,2641	0,2691

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,551	0,836	1,050	2,777	2,704	2,607	0,2504	0,2590	0,2704
0,577	0,869	1,085	2,672	2,638	2,591	0,2627	0,2668	0,2723
0,568	0,854	1,068	2,792	2,723	2,631	0,2487	0,2567	0,2676
0,563	0,854	1,071	2,665	2,613	2,544	0,2636	0,2697	0,2779
0,546	0,830	1,042	2,789	2,733	2,659	0,2490	0,2555	0,2643
0,572	0,865	1,083	2,640	2,593	2,529	0,2665	0,2721	0,2795
0,576	0,872	1,094	2,583	2,516	2,428	0,2733	0,2811	0,2914
0,582	0,878	1,098	2,595	2,550	2,489	0,2718	0,2771	0,2842
0,556	0,846	1,063	2,671	2,612	2,533	0,2629	0,2698	0,2791
0,545	0,837	1,055	2,596	2,551	2,490	0,2717	0,2770	0,2841
0,552	0,840	1,056	2,708	2,641	2,553	0,2585	0,2663	0,2767
0,543	0,832	1,049	2,660	2,596	2,512	0,2641	0,2716	0,2816
0,571	0,860	1,074	2,728	2,690	2,638	0,2562	0,2606	0,2667
0,551	0,837	1,051	2,753	2,691	2,608	0,2532	0,2605	0,2703
0,551	0,835	1,049	2,801	2,717	2,605	0,2475	0,2574	0,2706
0,525	0,805	1,014	2,831	2,781	2,714	0,2441	0,2499	0,2578
0,555	0,839	1,049	2,811	2,778	2,733	0,2464	0,2503	0,2555
0,552	0,834	1,042	2,853	2,826	2,790	0,2414	0,2445	0,2488
0,574	0,872	1,091	2,535	2,525	2,510	0,2788	0,2801	0,2818
0,570	0,860	1,075	2,703	2,663	2,609	0,2591	0,2638	0,2702
0,567	0,855	1,067	2,743	2,721	2,692	0,2544	0,2570	0,2604
0,558	0,845	1,057	2,746	2,718	2,680	0,2540	0,2574	0,2618
0,564	0,857	1,073	2,622	2,602	2,576	0,2686	0,2709	0,2740
0,569	0,865	1,081	2,567	2,575	2,586	0,2751	0,2741	0,2728

Průměrné zrychlení tělesa je $(2,606 \pm 0,004) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $2,284 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $2,931 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2705 \pm 0,0007$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2322 do 0,3084.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.1.6 Součinitel smykového tření polyuretanu

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,770 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,446 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,110 \text{ m}$$

Tabulka 3.1.6 Naměřené a vypočtené hodnoty - polyuretan

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,661	1,023	1,309	1,373	1,380	1,388	0,416	0,415	0,414
0,644	0,983	1,250	1,625	1,625	1,625	0,386	0,386	0,386
0,636	0,971	1,218	1,663	1,793	1,969	0,382	0,366	0,346
0,705	1,070	1,359	1,420	1,408	1,392	0,410	0,412	0,413
0,686	1,042	1,307	1,490	1,584	1,711	0,402	0,391	0,376
0,673	1,018	1,280	1,602	1,662	1,740	0,389	0,382	0,372
0,643	0,986	1,239	1,569	1,696	1,869	0,393	0,378	0,357
0,700	1,085	1,380	1,209	1,262	1,331	0,435	0,429	0,421
0,620	0,953	1,205	1,654	1,741	1,855	0,383	0,372	0,359
0,652	0,991	1,240	1,641	1,771	1,948	0,384	0,369	0,348
0,650	0,993	1,248	1,584	1,693	1,839	0,391	0,378	0,361
0,648	0,989	1,244	1,606	1,704	1,836	0,388	0,377	0,361
0,638	0,974	1,230	1,653	1,718	1,803	0,383	0,375	0,365
0,697	1,074	1,364	1,282	1,326	1,383	0,426	0,421	0,414
0,680	1,048	1,334	1,345	1,374	1,412	0,419	0,416	0,411
0,681	1,049	1,334	1,347	1,381	1,426	0,419	0,415	0,409
0,645	1,002	1,285	1,397	1,401	1,406	0,413	0,412	0,412
0,669	1,027	1,303	1,436	1,478	1,532	0,408	0,403	0,397
0,677	1,038	1,316	1,417	1,458	1,513	0,411	0,406	0,399
0,710	1,079	1,363	1,385	1,420	1,464	0,414	0,410	0,405
0,667	1,025	1,288	1,432	1,558	1,730	0,409	0,394	0,374
0,657	1,015	1,276	1,411	1,556	1,755	0,411	0,394	0,371
0,677	1,025	1,289	1,571	1,633	1,714	0,392	0,385	0,376
0,642	0,988	1,243	1,527	1,658	1,835	0,398	0,382	0,361
0,665	1,012	1,274	1,562	1,636	1,735	0,393	0,385	0,373
0,678	1,047	1,330	1,330	1,383	1,451	0,421	0,415	0,406

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,672	1,023	1,294	1,525	1,559	1,602	0,398	0,394	0,389
0,647	1,001	1,278	1,438	1,461	1,491	0,408	0,405	0,402
0,684	1,035	1,314	1,546	1,524	1,496	0,395	0,398	0,401
0,750	1,121	1,407	1,419	1,440	1,467	0,410	0,408	0,405
0,687	1,043	1,314	1,492	1,547	1,619	0,402	0,395	0,387
0,716	1,068	1,346	1,582	1,563	1,537	0,391	0,393	0,396
0,713	1,089	1,371	1,319	1,395	1,498	0,422	0,413	0,401
0,671	1,046	1,337	1,253	1,293	1,345	0,430	0,425	0,419
0,661	1,005	1,268	1,592	1,645	1,713	0,390	0,384	0,376
0,703	1,075	1,372	1,343	1,323	1,298	0,419	0,422	0,424
0,659	1,023	1,303	1,346	1,400	1,470	0,419	0,412	0,404
0,679	1,037	1,310	1,455	1,511	1,584	0,406	0,399	0,391
0,674	1,028	1,300	1,493	1,536	1,592	0,402	0,397	0,390
0,645	0,989	1,249	1,560	1,641	1,748	0,394	0,384	0,372
0,749	1,112	1,382	1,500	1,576	1,677	0,401	0,392	0,380
0,665	1,013	1,279	1,549	1,602	1,671	0,395	0,389	0,381
0,653	0,992	1,259	1,643	1,639	1,635	0,384	0,384	0,385
0,658	1,023	1,303	1,333	1,393	1,470	0,420	0,413	0,404
0,679	1,025	1,308	1,599	1,523	1,431	0,389	0,398	0,409
0,675	1,035	1,310	1,424	1,480	1,553	0,410	0,403	0,394
0,663	1,010	1,275	1,558	1,613	1,685	0,394	0,387	0,379
0,661	1,014	1,288	1,480	1,510	1,549	0,403	0,400	0,395
0,663	1,034	1,311	1,278	1,383	1,524	0,427	0,415	0,398
0,671	1,019	1,300	1,560	1,512	1,452	0,394	0,399	0,406

Průměrné zrychlení tělesa je $(1,533 \pm 0,008) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $1,209 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $1,969 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

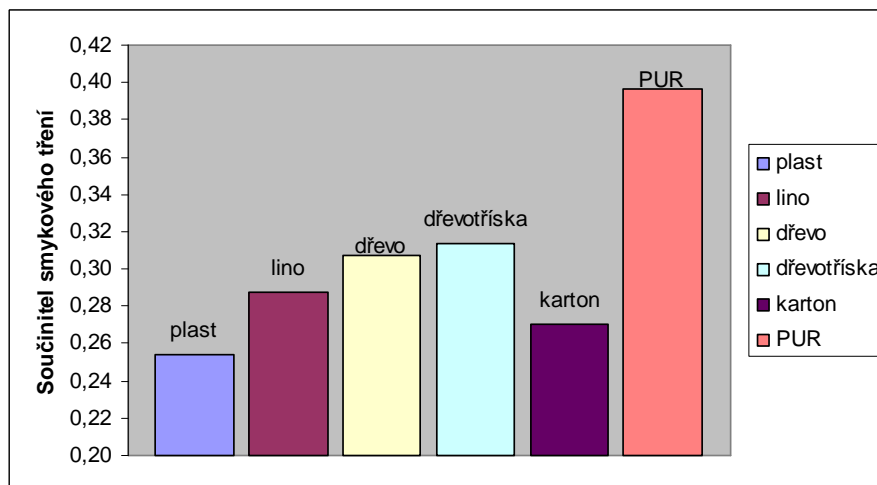
Relativní chyba měření $\delta = 0,5 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,3968 \pm 0,001$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,3455 do 0,4355.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.1.7 Souhrn naměřených výsledků



Obr. 3.1.1 Graf naměřených hodnot

3.1.8 Diskuse

Pro zmenšení odchylky měření bylo pro každý materiál provedeno padesát měření. Těleso se muselo spouštět tak, aby se nedotýkalo bočních stěn, a hřebík, který je zatlučen do středu tělesa, prošel správně optickou závorou. Bylo nutné dávat pozor na čistý povrch jak tělesa, tak i podložky. Další příčinou nepřesnosti je různě drsný povrch podložky – suky. Díky těmto faktorům jsou v tabulkách vidět relativně velké rozdíly hodnot zrychlení, z kterých se pak počítají hodnoty součinitele smykového tření.

Pěna z polyuretanu má velmi vysoký součinitel smykového tření. To je způsobeno pórovitostí a drsností materiálu, která je na kvádru vidět na první pohled. Proto se také více projeví nerovnosti podložky a přesnost měření. Největším kontrastem k polyuretanu je pak kvádr vyrobený z plastu, který se zdá být na povrchu hladký, tudíž klade nejmenší odpor při smýkání.

Součinitel smykového tření pro dřevo vyšel 0,3076. Tato hodnota se velmi blíží tabulkové hodnotě 0,3.

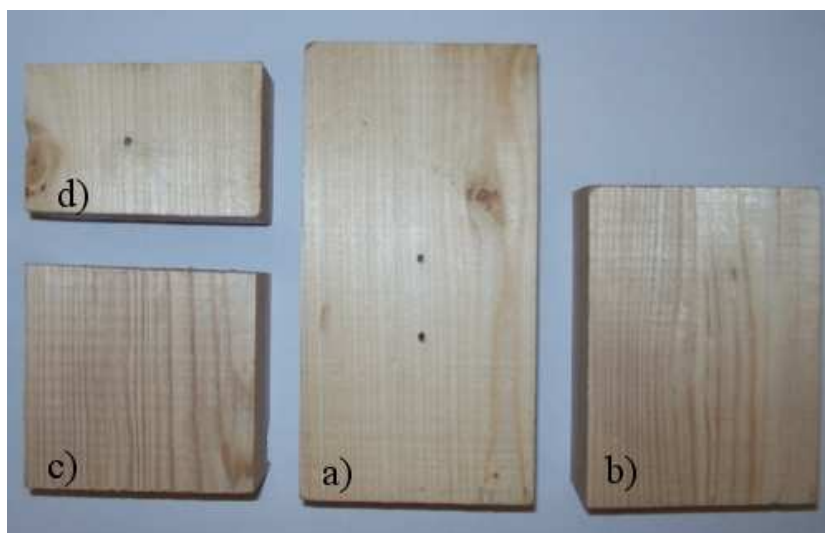
3.2 Měření závislosti součinitele smykového tření na hmotnosti tělesa

V této úloze byla studována závislost smykového tření na hmotnosti tělesa, které se pohybuje po dřevěném povrchu zkonstruované nakloněné roviny. Všechna měření byla provedena pro konstantní úhel $\alpha = 36^\circ$. Zkoumaným materiálem byly dřevěné kvádry, protože součinitel smykového tření pro dřevo na dřevě dle tabulek je 0,3. Může tak být ověřena důvěryhodnost výsledků této úlohy.

Dřevěné hranoly měly stejnou výšku i šířku, aby tím bylo zajištěno stejného působení odporu vzduchu pro každý hranol. Pokud by byly použity hranoly různých rozměrů, výsledek měření by mohl být ovlivněn působením různého odporu vzduchu. V podmínkách tohoto měření by však jeho vliv na přesnost výsledku byl zanedbatelný.

Hmotnosti jednotlivých kvádrů:

- a) $m_1 = 239,8$ g
- b) $m_2 = 167,5$ g
- c) $m_3 = 125,7$ g
- d) $m_4 = 81,5$ g



Obr. č. 3.2.1 Měřené dřevěné kvádry

3.2.1 Hmotnost tělesa $m_1 = 239,8$ g

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,720 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,435 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.2.1 Naměřené a vypočtené hodnoty pro kvádr o hmotnosti 239,8 g

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,536	0,801	0,994	3,383	3,360	3,328	0,3002	0,3031	0,3071
0,554	0,819	1,011	3,415	3,403	3,386	0,2961	0,2977	0,2998
0,505	0,769	0,960	3,336	3,348	3,366	0,3061	0,3045	0,3023
0,529	0,796	0,986	3,309	3,364	3,443	0,3095	0,3025	0,2926
0,506	0,771	0,961	3,308	3,351	3,411	0,3096	0,3042	0,2967
0,526	0,792	0,985	3,331	3,325	3,317	0,3067	0,3074	0,3084
0,516	0,781	0,974	3,336	3,322	3,302	0,3060	0,3078	0,3103
0,533	0,798	0,990	3,377	3,371	3,364	0,3009	0,3016	0,3025
0,522	0,788	0,980	3,321	3,334	3,352	0,3079	0,3063	0,3040
0,562	0,827	1,018	3,427	3,429	3,431	0,2946	0,2944	0,2941
0,526	0,789	0,980	3,422	3,410	3,394	0,2953	0,2968	0,2988
0,522	0,788	0,980	3,321	3,334	3,352	0,3079	0,3063	0,3040
0,493	0,754	0,945	3,393	3,371	3,341	0,2989	0,3017	0,3055
0,489	0,749	0,938	3,412	3,414	3,417	0,2965	0,2962	0,2958
0,486	0,746	0,936	3,401	3,387	3,368	0,2979	0,2996	0,3020
0,474	0,733	0,921	3,388	3,406	3,430	0,2995	0,2973	0,2942
0,463	0,721	0,909	3,374	3,386	3,404	0,3013	0,2997	0,2975
0,499	0,758	0,947	3,477	3,458	3,433	0,2883	0,2907	0,2939
0,495	0,757	0,948	3,367	3,358	3,346	0,3021	0,3033	0,3048
0,485	0,743	0,932	3,464	3,439	3,406	0,2900	0,2930	0,2972
0,503	0,764	0,954	3,424	3,414	3,400	0,2949	0,2962	0,2980
0,498	0,760	0,949	3,377	3,402	3,436	0,3009	0,2978	0,2935
0,493	0,754	0,945	3,393	3,371	3,341	0,2989	0,3017	0,3055
0,498	0,760	0,951	3,377	3,366	3,351	0,3009	0,3023	0,3041
0,501	0,760	0,950	3,483	3,445	3,393	0,2875	0,2923	0,2988

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,499	0,761	0,952	3,380	3,369	3,353	0,3005	0,3019	0,3039
0,481	0,738	0,927	3,483	3,446	3,396	0,2875	0,2922	0,2985
0,482	0,741	0,930	3,419	3,412	3,402	0,2956	0,2965	0,2977
0,478	0,738	0,928	3,371	3,363	3,352	0,3017	0,3027	0,3040
0,492	0,753	0,942	3,389	3,404	3,424	0,2993	0,2975	0,2949
0,477	0,737	0,927	3,367	3,360	3,350	0,3022	0,3031	0,3042
0,482	0,741	0,930	3,419	3,412	3,402	0,2956	0,2965	0,2977
0,509	0,769	0,957	3,473	3,481	3,493	0,2888	0,2877	0,2863
0,506	0,768	0,957	3,401	3,421	3,448	0,2978	0,2953	0,2919
0,501	0,762	0,951	3,418	3,427	3,439	0,2957	0,2946	0,2931
0,494	0,755	0,945	3,396	3,391	3,385	0,2985	0,2991	0,2999
0,495	0,755	0,945	3,432	3,412	3,385	0,2940	0,2965	0,2999
0,523	0,787	0,978	3,384	3,387	3,391	0,3000	0,2996	0,2991
0,507	0,769	0,959	3,404	3,406	3,408	0,2975	0,2973	0,2970
0,501	0,761	0,950	3,450	3,445	3,438	0,2916	0,2923	0,2933
0,494	0,753	0,941	3,461	3,464	3,468	0,2903	0,2899	0,2895
0,495	0,755	0,945	3,432	3,412	3,385	0,2940	0,2965	0,2999
0,477	0,735	0,924	3,434	3,415	3,390	0,2937	0,2961	0,2993
0,468	0,724	0,912	3,465	3,442	3,411	0,2897	0,2927	0,2967
0,483	0,745	0,936	3,324	3,324	3,324	0,3075	0,3076	0,3076
0,462	0,721	0,909	3,335	3,364	3,404	0,3062	0,3026	0,2975
0,476	0,735	0,924	3,396	3,393	3,390	0,2985	0,2988	0,2993
0,482	0,740	0,927	3,453	3,468	3,489	0,2913	0,2894	0,2868
0,498	0,760	0,949	3,377	3,402	3,436	0,3009	0,2978	0,2935
0,480	0,738	0,925	3,445	3,462	3,485	0,2923	0,2902	0,2873

Průměrné zrychlení tělesa je $(3,397 \pm 0,002) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $3,272 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $3,493 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2982 \pm 0,0003$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2863 do 0,3103.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

3.2.2 Hmotnost tělesa $m_2 = 167,5$ g

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,720 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,435 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.2.2 Naměřené a vypočtené hodnoty pro kvádr o hmotnosti 167,5 g

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,453	0,710	0,898	3,360	3,367	3,377	0,3031	0,3022	0,3009
0,455	0,710	0,897	3,441	3,433	3,423	0,2928	0,2938	0,2951
0,456	0,710	0,896	3,482	3,476	3,469	0,2877	0,2884	0,2893
0,468	0,725	0,912	3,431	3,442	3,458	0,2941	0,2927	0,2907
0,462	0,716	0,902	3,510	3,499	3,484	0,2842	0,2856	0,2875
0,469	0,725	0,912	3,470	3,465	3,458	0,2892	0,2898	0,2907
0,465	0,719	0,905	3,523	3,509	3,490	0,2825	0,2842	0,2866
0,471	0,728	0,915	3,444	3,452	3,464	0,2925	0,2914	0,2899
0,476	0,731	0,916	3,533	3,545	3,562	0,2812	0,2797	0,2775
0,468	0,724	0,910	3,465	3,481	3,502	0,2897	0,2878	0,2852
0,465	0,721	0,907	3,452	3,470	3,495	0,2914	0,2891	0,2860
0,479	0,737	0,925	3,441	3,440	3,438	0,2928	0,2929	0,2932
0,472	0,729	0,917	3,448	3,437	3,422	0,2920	0,2934	0,2953
0,482	0,740	0,928	3,453	3,449	3,444	0,2913	0,2918	0,2924
0,457	0,716	0,903	3,310	3,364	3,437	0,3093	0,3026	0,2933
0,459	0,717	0,905	3,355	3,371	3,394	0,3037	0,3016	0,2987
0,495	0,757	0,947	3,367	3,376	3,388	0,3021	0,3010	0,2995
0,488	0,749	0,939	3,375	3,375	3,374	0,3011	0,3012	0,3013
0,477	0,734	0,922	3,468	3,453	3,432	0,2895	0,2914	0,2939
0,475	0,731	0,918	3,494	3,484	3,471	0,2861	0,2874	0,2891
0,470	0,728	0,915	3,405	3,430	3,464	0,2974	0,2942	0,2899
0,463	0,720	0,907	3,408	3,425	3,447	0,2969	0,2949	0,2921
0,478	0,739	0,929	3,337	3,345	3,355	0,3059	0,3050	0,3037
0,478	0,737	0,925	3,404	3,418	3,438	0,2975	0,2957	0,2932
0,481	0,741	0,930	3,382	3,391	3,402	0,3002	0,2992	0,2977

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,487	0,747	0,935	3,404	3,427	3,457	0,2974	0,2946	0,2908
0,465	0,723	0,911	3,383	3,394	3,408	0,3001	0,2988	0,2970
0,480	0,739	0,927	3,412	3,424	3,442	0,2965	0,2949	0,2927
0,464	0,721	0,909	3,413	3,409	3,404	0,2964	0,2969	0,2975
0,465	0,723	0,911	3,383	3,394	3,408	0,3001	0,2988	0,2970
0,480	0,740	0,929	3,378	3,388	3,400	0,3007	0,2996	0,2980
0,482	0,740	0,928	3,453	3,449	3,444	0,2913	0,2918	0,2924
0,470	0,728	0,918	3,405	3,374	3,331	0,2974	0,3013	0,3067
0,476	0,735	0,923	3,396	3,412	3,434	0,2985	0,2965	0,2937
0,470	0,728	0,916	3,405	3,411	3,419	0,2974	0,2966	0,2955
0,467	0,724	0,911	3,426	3,439	3,456	0,2947	0,2931	0,2910
0,475	0,733	0,920	3,426	3,446	3,475	0,2948	0,2921	0,2886
0,475	0,732	0,920	3,460	3,446	3,428	0,2904	0,2921	0,2945
0,473	0,731	0,919	3,418	3,421	3,426	0,2958	0,2953	0,2947
0,484	0,742	0,930	3,460	3,455	3,448	0,2904	0,2911	0,2920
0,473	0,729	0,915	3,486	3,497	3,512	0,2871	0,2857	0,2839
0,482	0,740	0,927	3,453	3,468	3,489	0,2913	0,2894	0,2868
0,474	0,734	0,921	3,354	3,406	3,477	0,3038	0,2973	0,2883
0,477	0,735	0,922	3,434	3,453	3,479	0,2937	0,2914	0,2880
0,474	0,734	0,922	3,354	3,387	3,432	0,3038	0,2996	0,2939
0,453	0,709	0,896	3,395	3,406	3,420	0,2986	0,2973	0,2955
0,480	0,740	0,927	3,378	3,424	3,489	0,3007	0,2949	0,2868
0,475	0,733	0,919	3,426	3,465	3,520	0,2948	0,2898	0,2828
0,483	0,744	0,930	3,357	3,433	3,541	0,3034	0,2938	0,2802
0,481	0,739	0,924	3,449	3,503	3,577	0,2918	0,2851	0,2756

Průměrné zrychlení tělesa je $(3,434 \pm 0,002) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $3,310 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $3,577 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2937 \pm 0,0003$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2756 do 0,3093.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

3.2.3 Hmotnost tělesa $m_3 = 125,7 \text{ g}$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,720 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,435 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.2.3 Naměřené a vypočtené hodnoty pro kvádr o hmotnosti 125,7 g

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,488	0,746	0,937	3,474	3,411	3,326	0,2886	0,2966	0,3074
0,521	0,781	0,972	3,503	3,452	3,383	0,2850	0,2914	0,3001
0,488	0,747	0,938	3,441	3,393	3,328	0,2928	0,2989	0,3071
0,481	0,737	0,926	3,517	3,465	3,394	0,2832	0,2898	0,2987
0,487	0,747	0,939	3,404	3,354	3,285	0,2974	0,3038	0,3124
0,490	0,748	0,940	3,481	3,398	3,287	0,2878	0,2982	0,3122
0,468	0,723	0,913	3,501	3,423	3,319	0,2853	0,2951	0,3082
0,489	0,748	0,941	3,444	3,360	3,246	0,2924	0,3031	0,3174
0,460	0,716	0,907	3,429	3,356	3,258	0,2943	0,3035	0,3159
0,485	0,741	0,931	3,532	3,458	3,359	0,2814	0,2907	0,3032
0,501	0,758	0,947	3,549	3,500	3,433	0,2792	0,2854	0,2939
0,478	0,733	0,921	3,541	3,494	3,430	0,2803	0,2862	0,2942
0,491	0,748	0,937	3,518	3,474	3,415	0,2831	0,2886	0,2961
0,468	0,724	0,912	3,465	3,442	3,411	0,2897	0,2927	0,2967
0,483	0,738	0,927	3,559	3,490	3,396	0,2780	0,2867	0,2985
0,477	0,732	0,919	3,537	3,510	3,473	0,2807	0,2842	0,2888
0,477	0,733	0,922	3,502	3,453	3,386	0,2851	0,2914	0,2998
0,454	0,707	0,892	3,508	3,508	3,509	0,2843	0,2843	0,2843
0,537	0,798	0,989	3,505	3,463	3,404	0,2847	0,2901	0,2975
0,489	0,747	0,936	3,478	3,451	3,413	0,2882	0,2916	0,2963
0,497	0,756	0,945	3,471	3,453	3,429	0,2891	0,2913	0,2943
0,463	0,717	0,904	3,514	3,483	3,440	0,2836	0,2876	0,2930
0,493	0,750	0,938	3,524	3,498	3,462	0,2823	0,2856	0,2901
0,479	0,736	0,925	3,475	3,440	3,392	0,2885	0,2929	0,2990
0,482	0,737	0,925	3,555	3,506	3,438	0,2784	0,2847	0,2932

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,489	0,745	0,934	3,545	3,488	3,410	0,2797	0,2869	0,2968
0,481	0,736	0,924	3,552	3,503	3,436	0,2789	0,2851	0,2934
0,474	0,729	0,917	3,525	3,481	3,422	0,2822	0,2878	0,2953
0,484	0,741	0,928	3,494	3,492	3,490	0,2862	0,2863	0,2866
0,482	0,738	0,924	3,521	3,525	3,530	0,2828	0,2823	0,2816
0,483	0,738	0,925	3,559	3,528	3,485	0,2780	0,2819	0,2873
0,461	0,715	0,901	3,505	3,495	3,481	0,2847	0,2860	0,2878
0,487	0,743	0,931	3,538	3,501	3,450	0,2805	0,2853	0,2917
0,489	0,745	0,932	3,545	3,525	3,498	0,2797	0,2822	0,2857
0,490	0,748	0,936	3,481	3,472	3,459	0,2878	0,2889	0,2906
0,485	0,741	0,929	3,532	3,495	3,446	0,2814	0,2860	0,2922
0,472	0,726	0,912	3,552	3,533	3,506	0,2788	0,2813	0,2846
0,486	0,743	0,930	3,501	3,498	3,494	0,2853	0,2856	0,2861
0,499	0,756	0,944	3,543	3,513	3,473	0,2800	0,2837	0,2888
0,484	0,740	0,927	3,528	3,511	3,489	0,2819	0,2840	0,2868
0,480	0,735	0,923	3,548	3,500	3,434	0,2793	0,2854	0,2937
0,481	0,735	0,921	3,587	3,560	3,524	0,2745	0,2778	0,2823
0,427	0,675	0,858	3,546	3,533	3,515	0,2796	0,2812	0,2835
0,456	0,713	0,901	3,375	3,379	3,384	0,3012	0,3007	0,3000
0,461	0,717	0,903	3,434	3,456	3,486	0,2937	0,2909	0,2872
0,476	0,732	0,920	3,498	3,468	3,428	0,2856	0,2894	0,2945
0,480	0,737	0,923	3,479	3,500	3,528	0,2880	0,2854	0,2819
0,486	0,745	0,938	3,434	3,351	3,240	0,2937	0,3042	0,3182
0,471	0,726	0,912	3,513	3,510	3,506	0,2837	0,2841	0,2846
0,530	0,791	0,980	3,492	3,486	3,478	0,2864	0,2871	0,2881

Průměrné zrychlení tělesa je $(3,466 \pm 0,005) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $3,240 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $3,587 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2897 \pm 0,0006$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2745 do 0,3182.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.2.4 Hmotnost tělesa $m_4 = 81,5$ g

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,720 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,435 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.2.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pro kvádr o hmotnosti 81,5 g

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,479	0,753	0,953	2,939	2,955	2,979	0,3562	0,3540	0,3511
0,490	0,771	0,976	2,789	2,808	2,833	0,3750	0,3727	0,3694
0,493	0,773	0,978	2,828	2,832	2,837	0,3701	0,3696	0,3689
0,488	0,763	0,963	2,948	2,970	3,000	0,3550	0,3522	0,3485
0,493	0,769	0,971	2,939	2,938	2,937	0,3561	0,3562	0,3563
0,481	0,755	0,955	2,947	2,962	2,983	0,3551	0,3532	0,3506
0,493	0,769	0,968	2,939	2,985	3,049	0,3561	0,3503	0,3423
0,489	0,764	0,964	2,952	2,973	3,002	0,3545	0,3518	0,3482
0,485	0,759	0,961	2,964	2,944	2,917	0,3529	0,3555	0,3589
0,486	0,762	0,963	2,911	2,932	2,960	0,3596	0,3570	0,3534
0,484	0,759	0,960	2,931	2,941	2,954	0,3571	0,3559	0,3542
0,491	0,772	0,977	2,793	2,811	2,835	0,3745	0,3722	0,3692
0,482	0,758	0,959	2,894	2,918	2,952	0,3618	0,3587	0,3545
0,490	0,764	0,965	2,985	2,976	2,964	0,3504	0,3514	0,3529
0,490	0,767	0,970	2,899	2,898	2,897	0,3611	0,3612	0,3614
0,488	0,766	0,968	2,863	2,892	2,931	0,3657	0,3621	0,3571
0,484	0,756	0,955	3,019	3,021	3,023	0,3461	0,3458	0,3455
0,481	0,754	0,956	2,977	2,946	2,906	0,3514	0,3552	0,3603
0,484	0,766	0,962	2,736	2,909	3,159	0,3817	0,3598	0,3284
0,481	0,757	0,959	2,890	2,899	2,912	0,3623	0,3611	0,3595
0,470	0,741	0,941	2,986	2,971	2,951	0,3501	0,3520	0,3546
0,472	0,745	0,944	2,936	2,963	2,999	0,3565	0,3531	0,3485
0,487	0,765	0,968	2,859	2,873	2,893	0,3662	0,3644	0,3619
0,500	0,775	0,976	2,994	2,990	2,985	0,3492	0,3497	0,3503
0,482	0,757	0,959	2,923	2,918	2,912	0,3582	0,3587	0,3595

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,476	0,750	0,951	2,925	2,929	2,934	0,3579	0,3574	0,3567
0,497	0,773	0,974	2,954	2,966	2,982	0,3542	0,3527	0,3507
0,495	0,768	0,968	3,033	3,023	3,009	0,3443	0,3455	0,3472
0,498	0,772	0,972	3,015	3,016	3,017	0,3465	0,3464	0,3463
0,488	0,760	0,958	3,035	3,050	3,070	0,3440	0,3422	0,3396
0,485	0,758	0,958	2,993	2,992	2,989	0,3492	0,3495	0,3498
0,495	0,768	0,968	3,033	3,023	3,009	0,3443	0,3455	0,3472
0,486	0,758	0,958	3,027	3,011	2,989	0,3450	0,3470	0,3498
0,484	0,756	0,955	3,019	3,021	3,023	0,3461	0,3458	0,3455
0,485	0,757	0,957	3,023	3,008	2,987	0,3455	0,3474	0,3500
0,514	0,789	0,991	3,040	3,012	2,973	0,3434	0,3469	0,3518
0,497	0,770	0,970	3,040	3,029	3,013	0,3434	0,3448	0,3468
0,500	0,773	0,973	3,051	3,037	3,019	0,3420	0,3437	0,3461
0,487	0,758	0,957	3,061	3,046	3,027	0,3408	0,3426	0,3450
0,500	0,773	0,972	3,051	3,053	3,056	0,3420	0,3417	0,3413
0,499	0,772	0,971	3,047	3,050	3,054	0,3425	0,3421	0,3416
0,528	0,803	1,003	3,079	3,074	3,067	0,3384	0,3391	0,3400
0,487	0,757	0,956	3,090	3,063	3,025	0,3370	0,3405	0,3452
0,502	0,779	0,982	2,945	2,934	2,920	0,3554	0,3567	0,3585
0,552	0,836	1,040	2,903	2,930	2,968	0,3607	0,3573	0,3525
0,505	0,777	0,980	3,096	3,019	2,916	0,3363	0,3460	0,3590
0,531	0,809	1,013	3,006	2,976	2,934	0,3476	0,3515	0,3567
0,511	0,786	0,990	3,031	2,974	2,897	0,3446	0,3517	0,3614
0,503	0,776	0,975	3,061	3,061	3,062	0,3407	0,3407	0,3407
0,476	0,746	0,947	3,044	2,993	2,925	0,3428	0,3493	0,3579

Průměrné zrychlení tělesa je $(2,971 \pm 0,004) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $2,736 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $3,159 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

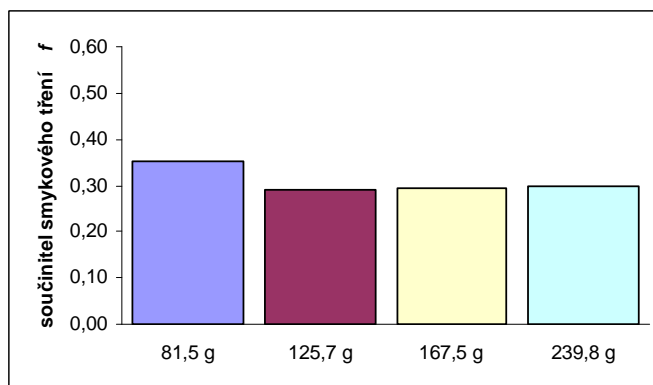
Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,3521 \pm 0,0004$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,3284 do 0,3817.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

3.2.5 Souhrn naměřených výsledků

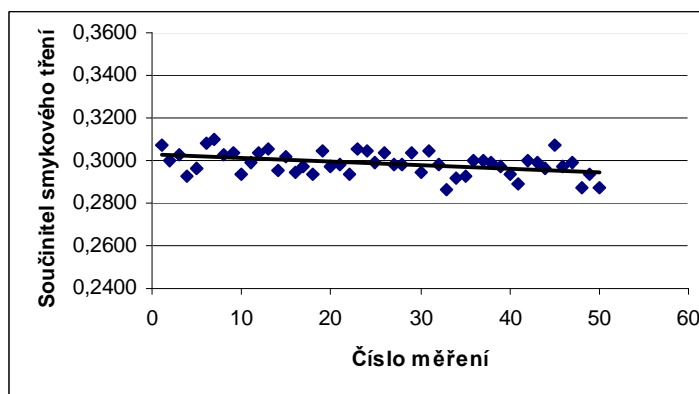


Obr. 3.2.2 Graf výsledných hodnot měření

3.2.6 Diskuse

V tomto měření bylo ověřena platnost vztahu (6), který říká, že součinitel smykového tření nezáleží na hmotnosti pohybujícího se tělesa a velikosti styčných ploch. U tělesa s nejmenší hmotností je patrný vyšší součinitel smykového tření (obr. č. 3.2.2). Je způsoben zejména nerovnoměrnou drsností podložky (suky, třísky), která daleko více ovlivní pohyb tělesa s malou hmotností. Lehké těleso se na problémových místech více zadržává a následně zpomaluje.

Na obr.č. 3.2.3 je po proložení přímkou vidět, že součinitel smykového tření (f_3 z tabulky č. 3.2.2) mírně klesá s přibývajícím počtem měření. To může způsobit například: ohlazování, zahřívání kvádrů, zanesením částic prachu mezi póry materiálu. Tento jev byl pozorován u více měření i v jiných úlohách.



Obr. č. 3.2.3 Součinitel smykového tření v závislosti na počtu měření

3.3 Měření závislosti zrychlení a součinitele smykového tření na úhlu

V této úloze byla ověřována závislost zrychlení na velikosti úhlu naklonění, potažmo smykového tření na úhlu. Úhly byly nastavovány od 18° do 55° . Jako materiál pouštížený po nakloněné rovině byl použit plastový kvádr, který má malý koeficient tření. Tím by nemělo docházelo k velkým chybám měření při přechodu přes nerovnosti povrchu podložky a také k zastavování tělesa při malých úhlech.

Pro úhel menší než 18° nebylo možné realizovat měření, protože pohyb tělesa by nebyl rovnoměrně přímočarý a měření by tak ztrácelo smysl. Při úhlu 15° se těleso vůbec nepohybovalo.

Měření bylo provedeno pro úhly:

- a) $\alpha = 18^\circ$
- b) $\alpha = 24^\circ$
- c) $\alpha = 30^\circ$ (Tento úhel byl změřen v první úloze, viz tabulka 3.1.1)
- d) $\alpha = 37^\circ$
- e) $\alpha = 40^\circ$
- f) $\alpha = 45^\circ$
- g) $\alpha = 50^\circ$
- h) $\alpha = 55^\circ$



Obr. č. 3.3.1 Plastový kvádr použitý pro měření

3.3.1 Úhel sklonu $\alpha = 18^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,400 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.1 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 18^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
1,174	1,766	2,231	0,664	0,653	0,639	0,2537	0,2549	0,2564
1,206	1,816	2,283	0,625	0,630	0,638	0,2580	0,2573	0,2565
1,183	1,763	2,219	0,698	0,685	0,668	0,2501	0,2515	0,2533
1,118	1,797	2,281	0,451	0,507	0,585	0,2766	0,2706	0,2622
1,109	1,705	2,198	0,637	0,595	0,545	0,2566	0,2611	0,2665
1,089	1,716	2,254	0,552	0,496	0,431	0,2657	0,2717	0,2788
1,268	1,870	2,359	0,653	0,620	0,579	0,2549	0,2585	0,2628
1,005	1,540	1,967	0,795	0,772	0,743	0,2397	0,2422	0,2453
1,015	1,622	2,138	0,572	0,521	0,462	0,2636	0,2691	0,2754
1,208	1,825	2,333	0,608	0,570	0,524	0,2597	0,2638	0,2688
1,026	1,592	2,065	0,697	0,644	0,582	0,2502	0,2558	0,2626
1,096	1,718	2,243	0,567	0,519	0,462	0,2642	0,2693	0,2754
1,053	1,607	2,062	0,745	0,701	0,647	0,2450	0,2498	0,2555
1,056	1,645	2,157	0,639	0,564	0,479	0,2564	0,2644	0,2736
1,017	1,575	2,038	0,719	0,670	0,611	0,2478	0,2531	0,2594
1,037	1,600	2,049	0,710	0,691	0,668	0,2488	0,2508	0,2533
1,096	1,649	2,101	0,761	0,718	0,666	0,2434	0,2479	0,2535
0,909	1,524	1,954	0,483	0,583	0,726	0,2731	0,2624	0,2471
1,190	1,862	2,370	0,487	0,505	0,528	0,2727	0,2708	0,2683
1,167	1,823	2,352	0,513	0,495	0,472	0,2700	0,2719	0,2743
1,179	1,786	2,271	0,627	0,606	0,581	0,2577	0,2599	0,2627
1,500	2,180	2,710	0,516	0,509	0,501	0,2696	0,2703	0,2712
1,296	1,936	2,451	0,572	0,548	0,519	0,2636	0,2661	0,2693
1,194	1,824	2,300	0,575	0,591	0,611	0,2632	0,2616	0,2594
1,093	1,703	2,198	0,596	0,570	0,539	0,2611	0,2638	0,2672

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
1,053	1,598	2,036	0,776	0,746	0,709	0,2418	0,2449	0,2489
1,184	1,799	2,276	0,608	0,607	0,606	0,2597	0,2598	0,2600
1,018	1,584	2,035	0,693	0,677	0,657	0,2506	0,2523	0,2545
1,166	1,783	2,283	0,599	0,572	0,539	0,2607	0,2636	0,2672
1,037	1,655	2,154	0,553	0,537	0,517	0,2656	0,2673	0,2695
0,953	1,485	1,899	0,783	0,785	0,788	0,2410	0,2407	0,2404
1,010	1,561	2,000	0,740	0,721	0,698	0,2456	0,2476	0,2501
0,947	1,487	1,907	0,749	0,754	0,761	0,2446	0,2441	0,2434
0,955	1,508	1,934	0,707	0,721	0,739	0,2491	0,2476	0,2457
1,020	1,570	2,011	0,747	0,722	0,692	0,2448	0,2475	0,2507
0,938	1,496	1,933	0,679	0,684	0,689	0,2521	0,2516	0,2510
1,000	1,604	2,067	0,572	0,592	0,618	0,2636	0,2614	0,2586
1,011	1,561	1,990	0,744	0,741	0,739	0,2452	0,2454	0,2457
1,146	1,750	2,219	0,626	0,625	0,624	0,2578	0,2579	0,2580
0,955	1,486	1,908	0,788	0,772	0,751	0,2405	0,2422	0,2444
1,198	1,841	2,345	0,548	0,543	0,536	0,2662	0,2667	0,2675
1,047	1,611	2,065	0,711	0,684	0,652	0,2487	0,2515	0,2551
0,979	1,532	1,969	0,719	0,710	0,699	0,2478	0,2488	0,2500
1,031	1,628	2,117	0,606	0,576	0,540	0,2599	0,2631	0,2670
0,923	1,450	1,893	0,786	0,724	0,649	0,2406	0,2473	0,2553
1,000	1,556	2,001	0,718	0,698	0,673	0,2479	0,2501	0,2528
0,924	1,464	1,880	0,736	0,752	0,773	0,2460	0,2443	0,2421
0,971	1,507	1,952	0,776	0,724	0,660	0,2417	0,2473	0,2542
0,949	1,496	1,935	0,725	0,705	0,681	0,2472	0,2493	0,2519
0,926	1,458	1,884	0,768	0,749	0,725	0,2426	0,2446	0,2472

Průměrné zrychlení tělesa je $(0,641 \pm 0,005) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $0,431 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $0,795 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,8 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2562 \pm 0,0005$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2397 do 0,2788.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.3.2 Úhel sklonu $\alpha = 24^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,400 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.2 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 24^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,739	1,139	1,447	1,410	1,424	1,442	0,2879	0,2863	0,2842
0,704	1,087	1,386	1,533	1,527	1,520	0,2741	0,2747	0,2756
0,687	1,061	1,350	1,607	1,619	1,634	0,2658	0,2645	0,2629
0,672	1,029	1,308	1,786	1,773	1,756	0,2458	0,2473	0,2492
0,683	1,050	1,335	1,681	1,681	1,682	0,2576	0,2575	0,2575
0,684	1,068	1,368	1,497	1,496	1,495	0,2781	0,2782	0,2784
0,706	1,089	1,368	1,536	1,642	1,787	0,2738	0,2620	0,2457
0,690	1,060	1,348	1,655	1,652	1,647	0,2604	0,2609	0,2614
0,777	1,170	1,472	1,505	1,513	1,524	0,2773	0,2764	0,2752
0,723	1,103	1,399	1,585	1,577	1,566	0,2684	0,2692	0,2704
0,720	1,109	1,409	1,492	1,504	1,520	0,2787	0,2773	0,2755
0,675	1,043	1,326	1,659	1,679	1,706	0,2601	0,2578	0,2548
0,663	1,035	1,317	1,596	1,647	1,715	0,2671	0,2613	0,2537
0,687	1,054	1,333	1,686	1,723	1,771	0,2571	0,2529	0,2475
0,700	1,067	1,350	1,701	1,709	1,721	0,2554	0,2544	0,2532
0,682	1,047	1,329	1,703	1,712	1,723	0,2552	0,2542	0,2529
0,671	1,023	1,293	1,848	1,868	1,893	0,2389	0,2367	0,2339
0,724	1,095	1,383	1,680	1,674	1,666	0,2577	0,2584	0,2593
0,723	1,090	1,367	1,723	1,764	1,818	0,2529	0,2483	0,2423
0,723	1,083	1,356	1,803	1,834	1,875	0,2440	0,2405	0,2359
0,741	1,142	1,452	1,403	1,411	1,422	0,2887	0,2877	0,2865
0,755	1,138	1,428	1,583	1,615	1,658	0,2686	0,2650	0,2602
0,710	1,080	1,365	1,678	1,687	1,699	0,2580	0,2569	0,2555
0,726	1,104	1,390	1,608	1,646	1,697	0,2657	0,2615	0,2558
0,724	1,094	1,381	1,691	1,686	1,679	0,2565	0,2571	0,2578

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,729	1,106	1,390	1,621	1,666	1,725	0,2643	0,2593	0,2527
0,721	1,099	1,404	1,603	1,537	1,455	0,2663	0,2737	0,2829
0,776	1,182	1,485	1,391	1,445	1,516	0,2900	0,2840	0,2760
0,713	1,082	1,362	1,692	1,726	1,771	0,2564	0,2526	0,2475
0,719	1,107	1,405	1,501	1,519	1,544	0,2777	0,2757	0,2729
0,719	1,093	1,373	1,643	1,700	1,776	0,2618	0,2555	0,2470
0,689	1,058	1,342	1,666	1,681	1,701	0,2593	0,2576	0,2553
0,693	1,066	1,362	1,626	1,590	1,544	0,2637	0,2678	0,2729
0,661	1,025	1,308	1,686	1,689	1,694	0,2570	0,2567	0,2562
0,679	1,040	1,318	1,746	1,760	1,778	0,2503	0,2487	0,2467
0,717	1,114	1,425	1,413	1,405	1,395	0,2875	0,2884	0,2895
0,731	1,116	1,410	1,542	1,566	1,598	0,2731	0,2704	0,2669
0,747	1,136	1,433	1,518	1,540	1,569	0,2758	0,2733	0,2700
0,664	1,027	1,304	1,702	1,738	1,785	0,2552	0,2512	0,2460
0,693	1,058	1,339	1,716	1,728	1,744	0,2537	0,2523	0,2505
0,746	1,113	1,393	1,741	1,760	1,783	0,2509	0,2488	0,2462
0,697	1,066	1,350	1,675	1,688	1,706	0,2583	0,2568	0,2548
0,671	1,041	1,323	1,630	1,669	1,719	0,2632	0,2589	0,2533
0,778	1,172	1,472	1,496	1,518	1,547	0,2782	0,2757	0,2725
0,717	1,088	1,368	1,674	1,717	1,774	0,2584	0,2536	0,2472
0,850	1,251	1,557	1,474	1,486	1,501	0,2807	0,2794	0,2777
0,776	1,172	1,472	1,477	1,507	1,547	0,2803	0,2770	0,2725
0,734	1,123	1,410	1,506	1,585	1,691	0,2771	0,2683	0,2564
0,720	1,093	1,374	1,655	1,701	1,762	0,2605	0,2554	0,2486
0,691	1,057	1,335	1,702	1,739	1,788	0,2552	0,2511	0,2457

Průměrné zrychlení tělesa je $(1,637 \pm 0,006) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $1,391 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $1,893 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,4 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2625 \pm 0,0007$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2339 do 0,2900.

Relativní chyba měření $\delta = 0,3 \%$.

3.3.3 Úhel sklonu $\alpha = 37^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,400 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.3 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 37^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,519	0,778	0,970	3,679	3,661	3,636	0,2568	0,2591	0,2623
0,521	0,779	0,969	3,715	3,718	3,722	0,2522	0,2518	0,2513
0,534	0,790	0,984	3,802	3,700	3,565	0,2411	0,2542	0,2713
0,493	0,753	0,946	3,584	3,574	3,561	0,2689	0,2702	0,2719
0,495	0,755	0,946	3,590	3,615	3,650	0,2682	0,2649	0,2605
0,533	0,796	0,987	3,579	3,628	3,695	0,2696	0,2634	0,2548
0,519	0,782	0,976	3,552	3,554	3,557	0,2730	0,2727	0,2724
0,552	0,818	1,013	3,517	3,531	3,549	0,2774	0,2757	0,2734
0,553	0,818	1,012	3,548	3,565	3,588	0,2735	0,2714	0,2684
0,517	0,776	0,966	3,675	3,694	3,719	0,2573	0,2549	0,2517
0,503	0,762	0,956	3,644	3,596	3,531	0,2613	0,2674	0,2756
0,521	0,781	0,971	3,651	3,682	3,724	0,2604	0,2564	0,2510
0,509	0,767	0,958	3,691	3,680	3,666	0,2553	0,2566	0,2585
0,498	0,754	0,946	3,732	3,678	3,605	0,2501	0,2570	0,2662
0,524	0,781	0,975	3,753	3,668	3,556	0,2473	0,2582	0,2726
0,507	0,765	0,956	3,686	3,677	3,663	0,2559	0,2571	0,2588
0,511	0,768	0,958	3,728	3,721	3,711	0,2505	0,2515	0,2528
0,539	0,798	0,988	3,712	3,723	3,739	0,2525	0,2511	0,2492
0,542	0,799	0,988	3,780	3,781	3,782	0,2439	0,2438	0,2437
0,576	0,836	1,028	3,718	3,700	3,677	0,2519	0,2541	0,2571
0,500	0,757	0,949	3,703	3,663	3,610	0,2537	0,2588	0,2657
0,487	0,743	0,934	3,702	3,672	3,632	0,2539	0,2577	0,2628
0,511	0,769	0,958	3,695	3,721	3,756	0,2547	0,2515	0,2470
0,488	0,746	0,936	3,636	3,655	3,681	0,2623	0,2598	0,2565
0,482	0,738	0,928	3,686	3,679	3,669	0,2559	0,2568	0,2581

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,557	0,820	1,014	3,612	3,602	3,589	0,2654	0,2666	0,2682
0,489	0,744	0,933	3,742	3,734	3,723	0,2488	0,2498	0,2511
0,515	0,772	0,962	3,737	3,727	3,715	0,2494	0,2506	0,2522
0,526	0,784	0,974	3,724	3,725	3,727	0,2510	0,2509	0,2507
0,473	0,727	0,916	3,727	3,713	3,695	0,2507	0,2524	0,2548
0,505	0,762	0,952	3,715	3,710	3,703	0,2522	0,2528	0,2537
0,508	0,765	0,955	3,722	3,716	3,707	0,2513	0,2521	0,2532
0,539	0,800	0,992	3,650	3,653	3,656	0,2605	0,2602	0,2597
0,519	0,781	0,974	3,583	3,589	3,597	0,2690	0,2683	0,2673
0,566	0,827	1,020	3,680	3,660	3,633	0,2566	0,2592	0,2627
0,498	0,757	0,948	3,631	3,640	3,653	0,2629	0,2617	0,2601
0,511	0,770	0,961	3,662	3,665	3,669	0,2589	0,2585	0,2580
0,549	0,811	1,002	3,633	3,663	3,705	0,2627	0,2588	0,2534
0,532	0,792	0,984	3,670	3,662	3,650	0,2579	0,2590	0,2606
0,496	0,753	0,943	3,693	3,692	3,691	0,2551	0,2551	0,2552
0,484	0,739	0,927	3,727	3,742	3,761	0,2506	0,2488	0,2463
0,503	0,758	0,946	3,778	3,782	3,788	0,2442	0,2436	0,2429
0,510	0,767	0,958	3,726	3,701	3,666	0,2508	0,2541	0,2585
0,517	0,775	0,965	3,708	3,712	3,718	0,2531	0,2526	0,2518
0,497	0,754	0,944	3,695	3,694	3,693	0,2547	0,2549	0,2550
0,515	0,773	0,965	3,704	3,672	3,630	0,2536	0,2577	0,2630
0,483	0,739	0,928	3,689	3,700	3,715	0,2555	0,2541	0,2521
0,480	0,739	0,931	3,577	3,579	3,581	0,2699	0,2696	0,2693
0,469	0,724	0,913	3,677	3,682	3,689	0,2571	0,2564	0,2555
0,489	0,745	0,936	3,707	3,677	3,635	0,2532	0,2571	0,2624

Průměrné zrychlení tělesa je $(3,646 \pm 0,009) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $3,280 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $1,3,967 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2577 \pm 0,0004$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2411 do 0,2774.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.3.4 Úhel sklonu $\alpha = 40^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,405 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,100 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.4 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 40^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,442	0,672	0,848	4,409	4,398	4,382	0,2522	0,2537	0,2558
0,447	0,678	0,854	4,383	4,388	4,395	0,2556	0,2550	0,2541
0,460	0,693	0,870	4,341	4,351	4,366	0,2613	0,2599	0,2579
0,437	0,667	0,842	4,388	4,406	4,430	0,2550	0,2526	0,2494
0,449	0,681	0,859	4,346	4,320	4,287	0,2606	0,2640	0,2684
0,446	0,678	0,854	4,334	4,360	4,395	0,2622	0,2587	0,2541
0,438	0,667	0,843	4,439	4,410	4,371	0,2482	0,2521	0,2572
0,455	0,686	0,862	4,412	4,411	4,410	0,2517	0,2519	0,2520
0,443	0,673	0,848	4,413	4,426	4,443	0,2516	0,2499	0,2477
0,448	0,679	0,856	4,387	4,367	4,340	0,2551	0,2579	0,2614
0,437	0,665	0,840	4,482	4,457	4,425	0,2425	0,2458	0,2500
0,444	0,674	0,851	4,417	4,379	4,329	0,2511	0,2562	0,2628
0,435	0,661	0,835	4,570	4,529	4,476	0,2308	0,2362	0,2433
0,441	0,671	0,847	4,405	4,394	4,380	0,2527	0,2542	0,2560
0,439	0,669	0,845	4,397	4,388	4,376	0,2538	0,2551	0,2566
0,448	0,680	0,857	4,342	4,342	4,342	0,2611	0,2611	0,2612
0,438	0,665	0,841	4,534	4,461	4,366	0,2356	0,2453	0,2579
0,442	0,672	0,848	4,409	4,398	4,382	0,2522	0,2537	0,2558
0,435	0,662	0,836	4,521	4,503	4,478	0,2373	0,2397	0,2430
0,445	0,674	0,849	4,468	4,458	4,445	0,2444	0,2457	0,2474
0,459	0,690	0,865	4,426	4,447	4,474	0,2500	0,2472	0,2435
0,443	0,672	0,848	4,460	4,426	4,382	0,2454	0,2499	0,2558
0,432	0,659	0,833	4,508	4,492	4,471	0,2390	0,2412	0,2439
0,437	0,665	0,841	4,482	4,432	4,366	0,2425	0,2492	0,2579
0,432	0,661	0,837	4,412	4,388	4,357	0,2518	0,2550	0,2592

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,440	0,670	0,845	4,401	4,416	4,436	0,2533	0,2512	0,2485
0,442	0,673	0,850	4,363	4,347	4,327	0,2583	0,2604	0,2631
0,435	0,665	0,840	4,379	4,399	4,425	0,2562	0,2535	0,2500
0,436	0,666	0,843	4,384	4,352	4,311	0,2556	0,2598	0,2653
0,437	0,666	0,841	4,435	4,432	4,428	0,2488	0,2492	0,2497
0,444	0,672	0,847	4,511	4,480	4,441	0,2387	0,2427	0,2480
0,440	0,672	0,849	4,309	4,316	4,325	0,2655	0,2646	0,2634
0,443	0,670	0,844	4,554	4,529	4,496	0,2329	0,2363	0,2406
0,441	0,671	0,848	4,405	4,369	4,322	0,2527	0,2575	0,2637
0,451	0,682	0,858	4,398	4,400	4,403	0,2536	0,2534	0,2530
0,433	0,660	0,833	4,512	4,522	4,534	0,2384	0,2372	0,2355
0,441	0,669	0,845	4,499	4,445	4,376	0,2403	0,2474	0,2566
0,436	0,667	0,844	4,337	4,327	4,313	0,2618	0,2632	0,2650
0,439	0,667	0,841	4,490	4,490	4,489	0,2414	0,2414	0,2415
0,441	0,670	0,847	4,452	4,394	4,320	0,2465	0,2542	0,2640
0,442	0,674	0,850	4,318	4,347	4,387	0,2643	0,2604	0,2552
0,385	0,609	0,783	4,365	4,341	4,310	0,2581	0,2613	0,2654
0,431	0,660	0,836	4,407	4,384	4,354	0,2524	0,2555	0,2595
0,434	0,661	0,836	4,517	4,473	4,416	0,2378	0,2437	0,2513
0,435	0,662	0,836	4,521	4,503	4,478	0,2373	0,2397	0,2430
0,436	0,666	0,843	4,384	4,352	4,311	0,2556	0,2598	0,2653
0,434	0,662	0,837	4,469	4,447	4,418	0,2442	0,2471	0,2510
0,439	0,668	0,845	4,443	4,388	4,315	0,2476	0,2551	0,2647
0,435	0,661	0,836	4,570	4,503	4,416	0,2308	0,2397	0,2513
0,436	0,663	0,837	4,526	4,506	4,481	0,2367	0,2393	0,2427

Průměrné zrychlení tělesa je $(4,414 \pm 0,004) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $4,287 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $4,570 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2515 \pm 0,0004$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2308 do 0,2684.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.3.5 Úhel sklonu $\alpha = 45^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,410 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,120 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.5 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 45^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,410	0,625	0,791	5,104	5,107	5,110	0,2640	0,2636	0,2631
0,406	0,619	0,782	5,199	5,249	5,314	0,2502	0,2430	0,2336
0,410	0,625	0,790	5,104	5,138	5,182	0,2640	0,2590	0,2527
0,408	0,620	0,783	5,269	5,290	5,317	0,2402	0,2372	0,2332
0,405	0,618	0,782	5,194	5,213	5,237	0,2510	0,2483	0,2448
0,404	0,615	0,778	5,308	5,306	5,304	0,2345	0,2348	0,2352
0,404	0,617	0,781	5,189	5,208	5,234	0,2518	0,2489	0,2452
0,408	0,622	0,785	5,151	5,225	5,322	0,2571	0,2465	0,2325
0,407	0,622	0,786	5,088	5,157	5,248	0,2662	0,2563	0,2432
0,425	0,642	0,809	5,062	5,070	5,081	0,2700	0,2688	0,2673
0,421	0,635	0,801	5,213	5,179	5,135	0,2483	0,2532	0,2595
0,414	0,628	0,794	5,181	5,154	5,118	0,2528	0,2568	0,2619
0,419	0,633	0,798	5,204	5,203	5,202	0,2495	0,2497	0,2498
0,414	0,627	0,791	5,239	5,248	5,260	0,2444	0,2431	0,2414
0,406	0,620	0,784	5,141	5,185	5,243	0,2587	0,2523	0,2440
0,411	0,627	0,792	5,052	5,111	5,187	0,2714	0,2630	0,2519
0,404	0,616	0,778	5,248	5,306	5,382	0,2432	0,2348	0,2238
0,399	0,610	0,774	5,280	5,251	5,214	0,2385	0,2427	0,2481
0,401	0,614	0,778	5,172	5,195	5,226	0,2542	0,2508	0,2464
0,402	0,614	0,776	5,237	5,298	5,377	0,2448	0,2360	0,2246
0,401	0,612	0,776	5,292	5,260	5,220	0,2369	0,2414	0,2472
0,407	0,621	0,786	5,146	5,157	5,172	0,2579	0,2563	0,2542
0,406	0,620	0,785	5,141	5,153	5,169	0,2587	0,2569	0,2546
0,407	0,621	0,786	5,146	5,157	5,172	0,2579	0,2563	0,2542
0,401	0,615	0,778	5,113	5,195	5,304	0,2627	0,2508	0,2352

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,407	0,619	0,782	5,264	5,286	5,314	0,2409	0,2377	0,2336
0,402	0,613	0,775	5,297	5,331	5,374	0,2361	0,2313	0,2250
0,402	0,615	0,779	5,177	5,200	5,229	0,2534	0,2502	0,2460
0,425	0,642	0,809	5,062	5,070	5,081	0,2700	0,2688	0,2673
0,422	0,637	0,803	5,160	5,151	5,140	0,2558	0,2571	0,2588
0,418	0,633	0,798	5,143	5,168	5,202	0,2584	0,2547	0,2498
0,415	0,629	0,794	5,186	5,189	5,192	0,2521	0,2517	0,2512
0,417	0,633	0,800	5,082	5,072	5,060	0,2672	0,2685	0,2703
0,420	0,636	0,803	5,096	5,083	5,067	0,2652	0,2670	0,2692
0,416	0,629	0,793	5,248	5,256	5,265	0,2431	0,2421	0,2407
0,415	0,628	0,791	5,244	5,284	5,337	0,2438	0,2380	0,2304
0,416	0,629	0,793	5,248	5,256	5,265	0,2431	0,2421	0,2407
0,413	0,626	0,791	5,235	5,213	5,185	0,2451	0,2483	0,2523
0,414	0,627	0,791	5,239	5,248	5,260	0,2444	0,2431	0,2414
0,416	0,631	0,797	5,134	5,130	5,126	0,2597	0,2602	0,2608
0,416	0,634	0,800	4,966	5,038	5,133	0,2839	0,2735	0,2598
0,412	0,626	0,791	5,172	5,177	5,185	0,2542	0,2534	0,2523
0,415	0,630	0,795	5,129	5,157	5,195	0,2604	0,2562	0,2509
0,413	0,627	0,792	5,177	5,181	5,187	0,2535	0,2528	0,2519
0,411	0,626	0,790	5,109	5,174	5,258	0,2632	0,2539	0,2418
0,412	0,625	0,789	5,230	5,241	5,255	0,2458	0,2442	0,2421
0,412	0,626	0,792	5,172	5,146	5,113	0,2542	0,2579	0,2627
0,415	0,631	0,796	5,072	5,126	5,197	0,2685	0,2607	0,2505
0,412	0,627	0,792	5,114	5,146	5,187	0,2625	0,2579	0,2519
0,415	0,628	0,792	5,244	5,252	5,263	0,2438	0,2426	0,2411

Průměrné zrychlení tělesa je $(5,194 \pm 0,004) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $4,966 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $5,382 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2510 \pm 0,0006$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2238 do 0,2839.

Relativní chyba měření $\delta = 0,2 \%$.

3.3.6 Úhel sklonu $\alpha = 50^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,410 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,115 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.6 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 50^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,385	0,585	0,738	5,921	5,936	5,956	0,2525	0,2501	0,2470
0,386	0,585	0,738	5,998	5,979	5,956	0,2403	0,2432	0,2470
0,384	0,582	0,735	6,058	6,009	5,946	0,2307	0,2384	0,2485
0,389	0,588	0,742	6,015	5,954	5,876	0,2376	0,2472	0,2596
0,374	0,574	0,727	5,848	5,879	5,919	0,2640	0,2592	0,2528
0,369	0,568	0,722	5,883	5,849	5,805	0,2584	0,2639	0,2709
0,362	0,559	0,711	5,976	5,966	5,952	0,2437	0,2454	0,2476
0,381	0,582	0,736	5,825	5,839	5,857	0,2677	0,2655	0,2627
0,378	0,575	0,727	6,095	6,059	6,014	0,2249	0,2305	0,2377
0,377	0,575	0,727	6,014	6,014	6,014	0,2377	0,2377	0,2377
0,361	0,557	0,708	6,044	6,042	6,038	0,2329	0,2333	0,2339
0,375	0,572	0,725	6,075	6,003	5,911	0,2280	0,2394	0,2540
0,363	0,559	0,712	6,061	5,972	5,858	0,2302	0,2443	0,2624
0,403	0,605	0,759	5,877	5,897	5,922	0,2594	0,2563	0,2523
0,351	0,546	0,697	6,032	6,012	5,987	0,2348	0,2380	0,2420
0,379	0,579	0,733	5,883	5,867	5,846	0,2585	0,2610	0,2643
0,389	0,588	0,741	6,015	5,993	5,965	0,2376	0,2410	0,2455
0,384	0,582	0,735	6,058	6,009	5,946	0,2307	0,2384	0,2485
0,381	0,582	0,735	5,825	5,877	5,946	0,2677	0,2594	0,2485
0,373	0,572	0,724	5,913	5,952	6,003	0,2537	0,2475	0,2394
0,368	0,566	0,718	5,949	5,963	5,980	0,2479	0,2458	0,2430
0,379	0,580	0,735	5,812	5,790	5,762	0,2698	0,2733	0,2778
0,374	0,575	0,729	5,776	5,800	5,832	0,2754	0,2716	0,2666
0,385	0,586	0,741	5,850	5,821	5,782	0,2637	0,2684	0,2745
0,357	0,557	0,710	5,706	5,768	5,849	0,2865	0,2767	0,2639

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,397	0,599	0,753	5,849	5,874	5,907	0,2639	0,2599	0,2547
0,375	0,575	0,729	5,855	5,845	5,832	0,2629	0,2645	0,2666
0,387	0,589	0,744	5,793	5,792	5,792	0,2727	0,2728	0,2730
0,385	0,584	0,737	5,992	5,975	5,952	0,2412	0,2439	0,2475
0,378	0,575	0,729	6,095	5,979	5,832	0,2249	0,2432	0,2666
0,388	0,587	0,742	6,009	5,911	5,785	0,2384	0,2540	0,2740
0,360	0,558	0,712	5,883	5,830	5,761	0,2584	0,2669	0,2778
0,375	0,573	0,727	6,001	5,924	5,824	0,2398	0,2520	0,2678
0,381	0,580	0,735	5,967	5,877	5,762	0,2451	0,2594	0,2778
0,370	0,567	0,721	6,039	5,935	5,801	0,2337	0,2503	0,2715
0,380	0,578	0,732	6,034	5,950	5,843	0,2346	0,2478	0,2648
0,380	0,579	0,734	5,961	5,872	5,758	0,2461	0,2602	0,2783
0,418	0,619	0,774	6,002	5,943	5,867	0,2396	0,2489	0,2610
0,377	0,575	0,729	6,014	5,934	5,832	0,2377	0,2503	0,2666
0,379	0,578	0,733	5,955	5,867	5,754	0,2471	0,2610	0,2789
0,388	0,586	0,740	6,081	5,989	5,870	0,2271	0,2417	0,2606
0,390	0,588	0,742	6,092	5,997	5,876	0,2254	0,2403	0,2596
0,370	0,568	0,723	5,965	5,855	5,715	0,2455	0,2629	0,2851
0,366	0,564	0,718	5,934	5,870	5,788	0,2504	0,2605	0,2735
0,382	0,582	0,737	5,902	5,844	5,769	0,2554	0,2647	0,2766
0,371	0,569	0,724	5,972	5,861	5,719	0,2443	0,2620	0,2845
0,379	0,577	0,730	6,027	5,985	5,929	0,2356	0,2424	0,2511
0,376	0,574	0,728	6,008	5,929	5,828	0,2387	0,2512	0,2672
0,370	0,568	0,721	5,965	5,935	5,896	0,2455	0,2503	0,2564
0,385	0,585	0,738	5,921	5,936	5,956	0,2525	0,2501	0,2470

Průměrné zrychlení tělesa je $(5,913 \pm 0,005) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $5,706 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $6,095 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2538 \pm 0,0009$.

Interval vypočtených hodnot je od 0,2249 do 0,2865.

Relativní chyba měření $\delta = 0,3 \%$.

3.3.7 Úhel sklonu $\alpha = 55^\circ$

Vzdálenost optických závor:

$$s_1 = 0,700 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,410 \text{ m}$$

$$s_3 = 2,125 \text{ m}$$

Tabulka 3.3.7 Naměřené a vypočtené hodnoty pro úhel $\alpha = 55^\circ$

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,352	0,540	0,685	6,622	6,688	6,773	0,2509	0,2391	0,2239
0,346	0,533	0,678	6,655	6,693	6,742	0,2449	0,2382	0,2295
0,344	0,530	0,675	6,726	6,727	6,728	0,2324	0,2323	0,2321
0,350	0,538	0,683	6,604	6,674	6,765	0,2540	0,2416	0,2255
0,349	0,538	0,685	6,509	6,527	6,549	0,2710	0,2678	0,2638
0,355	0,544	0,690	6,562	6,614	6,682	0,2616	0,2523	0,2402
0,351	0,540	0,687	6,527	6,541	6,558	0,2677	0,2653	0,2622
0,363	0,551	0,698	6,709	6,663	6,604	0,2355	0,2436	0,2540
0,365	0,555	0,703	6,555	6,538	6,516	0,2628	0,2658	0,2696
0,342	0,529	0,675	6,616	6,615	6,613	0,2519	0,2522	0,2525
0,342	0,530	0,676	6,528	6,567	6,618	0,2677	0,2606	0,2516
0,347	0,534	0,680	6,665	6,653	6,638	0,2433	0,2454	0,2481
0,350	0,538	0,685	6,604	6,580	6,549	0,2540	0,2583	0,2638
0,358	0,547	0,694	6,586	6,587	6,589	0,2573	0,2571	0,2568
0,354	0,544	0,691	6,469	6,515	6,576	0,2782	0,2698	0,2590
0,336	0,524	0,670	6,463	6,517	6,586	0,2792	0,2696	0,2572
0,334	0,521	0,666	6,530	6,596	6,681	0,2673	0,2556	0,2404
0,333	0,519	0,663	6,609	6,685	6,783	0,2531	0,2397	0,2223
0,323	0,509	0,654	6,483	6,538	6,608	0,2755	0,2658	0,2533
0,354	0,543	0,690	6,553	6,561	6,572	0,2631	0,2617	0,2598
0,344	0,530	0,676	6,726	6,678	6,618	0,2324	0,2409	0,2516
0,347	0,534	0,680	6,665	6,653	6,638	0,2433	0,2454	0,2481
0,365	0,554	0,701	6,638	6,628	6,616	0,2480	0,2497	0,2520
0,351	0,540	0,686	6,527	6,587	6,665	0,2677	0,2571	0,2432
0,355	0,544	0,691	6,562	6,568	6,576	0,2616	0,2605	0,2590

t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	a_{12} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{13} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	a_{23} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]	f_1	f_2	f_3
0,353	0,540	0,685	6,718	6,742	6,773	0,2339	0,2295	0,2239
0,377	0,568	0,716	6,551	6,555	6,561	0,2635	0,2627	0,2618
0,374	0,564	0,712	6,614	6,585	6,548	0,2523	0,2574	0,2640
0,362	0,552	0,700	6,533	6,521	6,505	0,2667	0,2689	0,2717
0,383	0,576	0,724	6,427	6,495	6,583	0,2855	0,2734	0,2578
0,353	0,543	0,690	6,460	6,509	6,572	0,2797	0,2710	0,2598
0,368	0,559	0,707	6,494	6,510	6,531	0,2736	0,2707	0,2670
0,363	0,553	0,700	6,541	6,572	6,612	0,2654	0,2598	0,2526
0,353	0,543	0,692	6,460	6,418	6,364	0,2797	0,2872	0,2967
0,346	0,533	0,680	6,655	6,598	6,525	0,2449	0,2551	0,2681
0,363	0,553	0,700	6,541	6,572	6,612	0,2654	0,2598	0,2526
0,366	0,557	0,705	6,480	6,499	6,524	0,2761	0,2727	0,2683
0,360	0,549	0,696	6,602	6,600	6,597	0,2545	0,2549	0,2554
0,360	0,549	0,697	6,602	6,554	6,493	0,2545	0,2630	0,2738
0,356	0,544	0,691	6,656	6,621	6,576	0,2449	0,2511	0,2590
0,351	0,538	0,684	6,701	6,681	6,656	0,2369	0,2403	0,2448
0,370	0,560	0,708	6,589	6,565	6,535	0,2567	0,2610	0,2664
0,362	0,552	0,700	6,533	6,521	6,505	0,2667	0,2689	0,2717
0,373	0,563	0,710	6,608	6,625	6,646	0,2534	0,2504	0,2465
0,373	0,563	0,711	6,608	6,580	6,545	0,2534	0,2583	0,2646
0,358	0,547	0,694	6,586	6,587	6,589	0,2573	0,2571	0,2568
0,367	0,558	0,706	6,487	6,505	6,527	0,2748	0,2717	0,2677
0,367	0,557	0,703	6,569	6,639	6,731	0,2603	0,2478	0,2315
0,369	0,559	0,706	6,583	6,605	6,633	0,2579	0,2539	0,2489
0,359	0,547	0,694	6,679	6,639	6,589	0,2407	0,2478	0,2568

Průměrné zrychlení tělesa je $(6,583 \pm 0,004) \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Hodnoty zrychlení se pohybují v rozmezí od $6,364 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ do $6,783 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

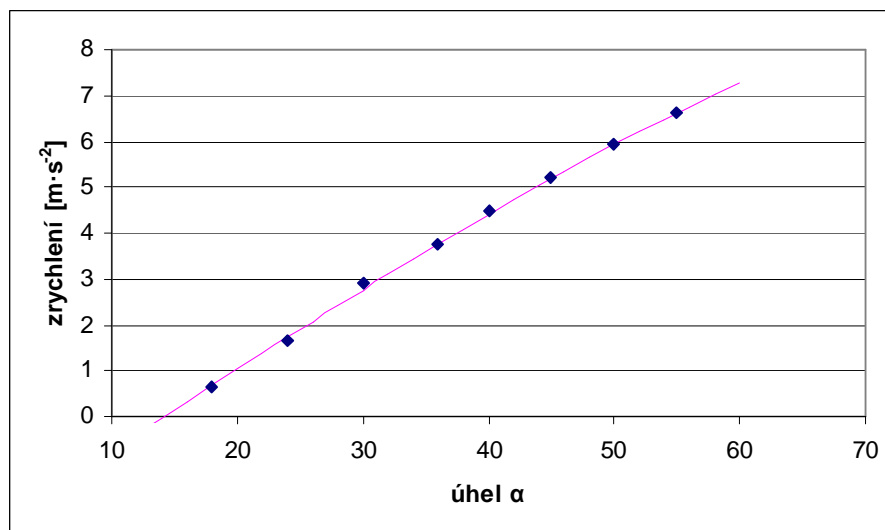
Relativní chyba měření $\delta = 0,1 \%$.

Průměrný součinitel smykového tření je $0,2579 \pm 0,0007$.

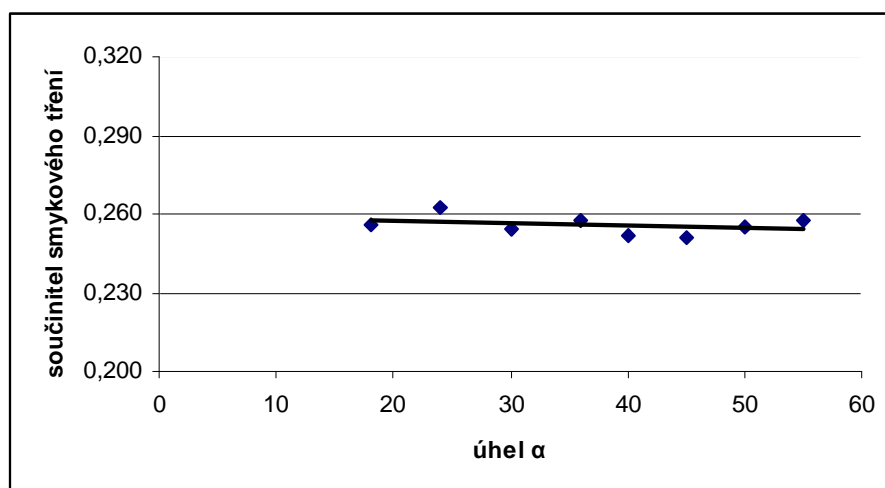
Interval vypočtených hodnot je od 0,2223 do 0,2967.

Relativní chyba měření $\delta = 0,3 \%$.

3.3.8 Souhrn výsledků



Obr. č. 3.3.2 Závislost zrychlení tělesa na úhlu sklonu roviny



Obr. č. 3.3.3 Závislost tření na úhlu sklonu roviny

3.3.9 Diskuse

Na obr. č. 3.3.2 je vidět křivka teoretické závislosti rovnoměrného zrychlení na velikosti úhlu sklonu, která, nutno podotknout, není lineární. Naměřené hodnoty se k této křivce velice blíží, nebo na ni dokonce leží.

Na obr. č. 3.3.3 je průkazné, že součinitel smykového tření není závislí na úhlu sklonu podložky. I když proložená přímka mírně klesá. To je opět způsobeno nedokonalým materiálem podložky, protože suky a záděrky na dřevě mají při nižších úhlech daleko jiný vliv na pohybující se těleso, než při vyšších úhlech. To se projevuje nejvíce při úhlu 18° , kdy se jednotlivé výpočty od sebe značně liší. Další možnou příčinou by mohlo být ohlazování a zahřívání tělesa.

3.4 Vylepšení měření v budoucnu

Konstrukčním problémem bylo připevnění optických závor. Zprvu bylo jejich uchycení řešeno pomocí svorky a závitové tyče (viz obr.2.2.3). To se však neosvědčilo, jelikož se mohly závory například samovolně pootočit, povolít, či při nárazu tělesa do závor dokonce upadnout. Proto bylo nutné upevnění závor často kontrolovat a přeměřovat jejich vzdálenost. Tento nedostatek byl pro budoucí měření odstraněn použitím kovových držáků, které jsou pevně přišroubovány ke konstrukci ve vzdálenosti 70cm (obr.č. 3.4.1). Tím je zajištěno dosažení lepších výsledků, jelikož jak se v praktickém měření ukázalo, je třeba klást velký důraz na přesné měření jednotlivých vzdáleností závor.

Také bylo nutné řešit stabilitu celého zařízení. Při větším naklonění roviny nemělo zařízení, zvláště jeho rameno, dobrou stabilitu. Proto bude zařízení dodatečně stabilizováno.

Jak se také osvědčilo, je nutné dbát na čistý povrch podložky i těles spouštěných po nakloněné rovině. Protože zachycené nečistoty na tělese, jako například smetí, jen přispějí k větším nepřesnostem při měření.

V případě potřeby by bylo možné přidat další optickou závoru a získat tak další hodnoty pro výpočty (s_4 , t_4). To by dělalo při padesáti měření dvě sě vypočtených hodnot. Ale při délce této nakloněné roviny by jednotlivé úseky byly příliš krátké a proto si myslím, že počet závor, který byl při měření aplikován, byl nejvhodnější.



Obr.č. 3.4.1 Nové upevnění optických závor

4 Závěr

Bakalářská práce se zabývala měřením součinitele smykového tření a rovnoměrného zrychlení tělesa, které se pohybuje po nakloněné rovině. Cílem úlohy také bylo zkonstruovat a popsat zařízení, na kterém budou úlohy změřeny a posléze vyhodnoceny. Celá aparatura bude připravena ve fyzikálních laboratořích Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a rozšíří tak počet úloh v praktiku mechaniky.

Ve třech úlohách byla ověřena závislost součinitele smykového tření na materiálu tělesa, hmotnosti tělesa a úhlu naklonění podložky. Také bylo potvrzeno, že zrychlení tělesa nezávisí na jeho hmotnosti. Naopak je závislé na úhlu sklonu roviny. Závěrem úloh jsou náměty pro budoucí studenty, které mohou vést ke zlepšení měření a vyhodnocování experimentálních úloh.

5 Seznam použité literatury

[1] <http://fyzika.jreichl.com/> - encyklopedie fyziky.

[2] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: Fyzika. VUTIUM, Brno, nebo PROMETHEUS, Praha, 2000.