Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální fyziky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Školní pokusy s tabletem nebo chytrým telefonem

Autorka:	**Bc. Alice Kutnarová**
Studijní program:	Učitelství fyziky pro střední školy
Studijní obor:	Učitelství fyziky pro střední školy maior
	Učitelství matematiky pro střední školy minor
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	**Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.**
Termín odevzdání práce:	srpen 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Lukáše Richterka, Ph.D. a že jsem použila výhradně zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci dne 11. srpna 2023

.....

Bc. Alice Kutnarová

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Bc. Alice Kutnarová
Název práce	Školní pokusy s tabletem nebo chytrým telefonem
Typ práce	Diplomová
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2023
Abstrakt	Diplomová práce se zabývá fyzikálními pokusy, ve kterých lze využít mobilní zařízení. První kapitola popisuje motivaci žáků, využití telefonů a digitální vzdělávání. Další část popisuje senzory telefonů a aplikace, které lze pro experimenty využít. Poslední část popisuje a vyhodnocuje postupy fyzikálních experimentů použitelných při výuce na základní nebo střední škole. Jedná se o fyzikální pokusy z oblasti mechaniky. K vybraným experimentům jsou vytvořeny pracovní listy jako laboratorní úlohy z fyziky. Zároveň práce nabízí jednoduchou videoanalýzu pohybu.
Klíčová slova	Fyzikální pokusy, telefon, smartphone, mechanika, phyphox
Počet stran	74
Počet příloh	1
Jazyk	český

Bibliographical identification

Autor's first name and surname	Bc. Alice Kutnarová
Title	School experiments with a tablet or smartphone
Type of thesis	Master
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
The year of presentation	2023
Abstract	The diploma thesis deals with physical experiments in which mobile devices can be used. The first chapter describes student motivation, the use of phones and digital education. The next section describes phone sensors and applications that can be used for experiments. The last part describes and evaluates the procedures of physical experiments applicable in teaching at elementary or high school. These are physical experiments in the field of mechanics. Worksheets are created for selected experiments as laboratory exercise from physics. The thesis also offers a simple video analysis of movement.
Keywords	Physics experiments, smartphone, mechanics, phyphox
Number of pages	74
Number of appendices	1
Language	czech

Obsah

Úvod **7**

1 Využití telefonů a tabletů ve výuce **9**
1.1 Motivace žáků . . . 9
1.2 Digitální vzdělávání . . . 10
1.3 BYOD . . . 11

2 Senzory **13**
2.1 Akcelerometr . . . 13
2.2 Gyroskop . . . 13
2.3 Magnetometr . . . 14
2.4 GPS senzor . . . 14
2.5 Senzor přiblížení . . . 14
2.6 Senzor okolního světla . . . 14
2.7 Další senzory a součásti telefonů . . . 15

3 Aplikace pro měření **17**
3.1 Phyphox . . . 17
3.1.1 Používání aplikace . . . 17
3.2 Vernier Graphical Analysis . . . 19
3.3 Playground Physics . . . 20

4 Experimenty **21**
4.1 Rovnoměrný přímočarý pohyb . . . 21
4.1.1 Teoretický úvod . . . 21
4.1.2 Popis experimentu . . . 21
4.1.3 Naměřené hodnoty a výsledky . . . 22
4.1.4 Zhodnocení . . . 25
4.1.5 Pracovní list . . . 25
4.2 Volný pád . . . 29
4.2.1 Teoretický úvod . . . 29
4.2.2 Popis experimentu . . . 29
4.2.3 Naměřené hodnoty a výsledky . . . 30
4.2.4 Zhodnocení . . . 31
4.2.5 Pracovní list . . . 34
4.3 Rovnoměrný pohyb po kružnici . . . 38
4.3.1 Teoretický úvod . . . 38
4.3.2 Popis experimentu . . . 38
4.3.3 Naměřené hodnoty a výsledky . . . 40

4.3.4 Zhodnocení . . . 41
4.3.5 Pracovní list . . . 41
4.4 Nakloněná rovina . . . 44
4.4.1 Teoretický úvod . . . 44
4.4.2 Popis experimentu . . . 45
4.4.3 Naměřené hodnoty a výsledky . . . 47
4.4.4 Zhodnocení . . . 49
4.4.5 Pracovní list . . . 49
4.5 Energie rotující desky . . . 54
4.5.1 Teoretický úvod . . . 54
4.5.2 Popis experimentu . . . 56
4.5.3 Naměřené hodnoty a výsledky . . . 56
4.5.4 Zhodnocení . . . 57
4.6 Dynamika joja . . . 57
4.6.1 Teoretický úvod . . . 57
4.6.2 Popis experimentu . . . 59
4.6.3 Naměřené hodnoty a výsledky . . . 60
4.6.4 Zhodnocení . . . 62
4.7 Videoanalýza pohybu . . . 62
4.7.1 Houpačka . . . 62
4.7.2 Hod míčkem . . . 64
4.7.3 Zhodnocení . . . 65

Závěr **66**

Literatura **69**

Seznam obrázků **73**

Seznam tabulek **74**

Příloha A

Úvod

Současná informační společnost vede oblast školství k proměnám ve výukových prostředcích. Vedle klasických didaktických prostředků se dostává do popředí i digitální technika. Tuto technologii lze využívat napříč celým spektrem školství. V řadě vyučovacích předmětů se stala jejich běžnou doplňující součástí, jako například dataprojektory, interaktivní tabule, televize, notebooky. Postupně jsou tyto technologie dále rozšiřovány do oblasti dotykových zařízení. Z nich jsou nejčastěji využívány tablety jejichž pomocí žáci mohou lépe prezentovat své projekty, sdílet audio či videozáznamy, textové prezentace, pomocí připojení na internetové sítě získávat další informace k výuce. Své zastoupení nachází 3D tisk, dotykové panely, herní konzole, chytré mobilní telefony apod.

Pedagogičtí pracovníci i rodiče žáků si často kladou otázku, zda je vůbec vhodné zařazovat do výuky moderní technologie. Pro dosažení cílů výuky je potřeba žákům poskytnout prostor, nástroje a pomůcky, které jim pomohou. V současné době již vnímáme rozdíly, ke kterým díky technologiím dochází v pracovních profesích. Mnoho původních profesí zaniklo a robotizací došlo ke značné proměně činností, téměř všude se budoucí generace budou setkávat s elektronizací, robotizací a používáním moderních technologií. Na tyto budoucí potřeby společnosti školský systém beze sporu musí reagovat a připravovat žáky potřebným směrem.

Učitelům a žákům mohou být moderní technologie vhodnými nástroji, či pomůckami k dosažení cílů a efektivity výuky. Zároveň žáky motivovat nejen pro práci ve školním prostředí, ale i v domácí přípravě. Je však nezbytné uvědomit si významnou roli učitele, na nějž budou kladeny zvýšené nároky, nejen v oblasti znalostí obsluhy techniky, programového vybavení, ale i odpovědnost v rozhodování, kdy takovou výuku je vhodné zařadit, případně jak aktivity žáků diferencovat. Další vzdělávání pedagogických pracovníků bude tedy nezbytnou součástí jejich práce.

Jedním z důvodů výběru tématu překládané práce je zařazení mobilních zařízení do výuky přírodovědného oboru fyziky. Smyslem je podpořit žáky, aby jinou formou pochopili základní fyzikální principy, dovedli si teoretické poznatky vyzkoušet v jednoduchých experimentech ve školním, či v domácím prostředí s využitím běžných nebo snadno dostupných materiálů v kombinaci s mobilním zařízením, jako je například tablet nebo chytrý mobilní telefon.

Hlavním cílem předkládané práce je pomocí známých postupů u experimentů s mobilními zařízeními, jako je tablet či chytrý telefon, ověřit jejich funkčnost a použití ve výuce fyziky pro žáky středních škol. Na základě získaných poznatků navrhnout experimenty s mobilními zařízeními ve školní fyzikální laboratoři, naměřit vlastní reálná data a vyhodnotit je, provést video analýzu pohybu pomocí tabletu nebo počítače. K vybraným navrženým experimentům zpracovat pracovní listy pro žáky tak, aby mohly být následně žáky vypracovány a učitelem vyhodnoceny.

Struktura diplomové práce je rozdělena na čtyři základní části. První kapitola je rešerší teoretických poznatků v oblasti využívání mobilních telefonů a tabletů ve

výuce, motivace žáků a digitálního vzdělávání. Navazující druhá kapitola popisuje senzory mobilních telefonů, které lze v případě fyzikálních experimentů využívat. Třetí kapitola se zabývá popisem aplikací vhodných k měření s telefonem a poslední kapitola je praktickou částí samotných experimentů a ověřování jejich funkčnosti v praxi.

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce Mgr. Lukáši Richterkovi, Ph.D za odborné vedení, cenné připomínky, rady, trpělivost a vstřícnost, kterou mi poskytl. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a nejbližším za trpělivost a podporu, speciálně pak mému bratrovi za nápady a výrobu několika pomůcek při přípravě některých experimentů.

Kapitola 1

Využití telefonů a tabletů ve výuce

Experimenty s využitím mobilních zařízení jsou v současné době předmětem inovace výuky. Učitelům nabízejí další spektrum nástrojů pro výuku předmětu a žákům lépe pochopit teorii, kterou si díky experimentu aplikují do praxe a vědění. Mohou působit pozitivním způsobem na motivaci žáků.

„Z hlediska aktivizace žáků se vedle celé řady metod jako didakticky vhodné jeví využití školního experimentu, který umožňuje jak ověřování teorie, tak i zkoumání reality a získávání nových poznatků“ (Jiří Dostál, [1])

Využití mobilních zařízení ve výuce může být velmi užitečné a efektivní. Pomocí mobilních telefonů a tabletů lze rozšiřovat výuku, zvyšovat interaktivitu žáků a komunikaci mezi učiteli a žáky.

Jedním z hlavních výhod použití mobilních zařízení ve výuce je přístupnost. Díky tomu, že téměř každý žák má mobilní telefon nebo tablet, může být tato pomůcka dostupná kdekoliv a kdykoliv. Pro žáky, kteří potřebují flexibilitu na místě a čase výuky, je to velmi užitečné. Mezi další výhody mobilních zařízení ve výuce patří podpora interaktivity žáků pomocí kvízů, her a simulací. Většinou se jedná o velmi motivující způsoby výuky. Mobilní zařízení lze velmi dobře využívat k tvorbě on-line diskuzí a kolaborativní práci, a to především pro vzdělávání na dálku, kdy je potřeba zajistit komunikaci mezi učiteli a žáky.

Používání mobilních zařízení ve výuce ovšem vyžaduje i určitou opatrnost. Je velmi důležité zohledňovat všechna hlediska jejich používání, rizika s tím spojená, aby bylo dosaženo kýženého efektu, neopomíjet bezpečnost žáků, jejich vystavení nevhodnému obsahu, kybernetickému napadení, negativním sociálně-ekonomickým nebo zdravotním aspektům. Z toho vyplývají požadavky na kompetence učitelů, které by neměly být podceňovány. Podstatnou součástí programu zavádění tohoto způsobu výuky je neustálý proces rozšiřování kompetencí učitelů [2].

1.1 Motivace žáků

Motivace je nezbytnou součástí úspěšného vzdělávacího procesu žáků. Umění motivovat a inspirovat žáky je jednou z klíčových kompetencí učitele. Jde o náročnou kompetenci, při které je zapotřebí uplatňovat individuální přístup k žákům a znát jejich motivátory.

Motivaci lze chápat jako prostředek, který zajišťuje a aktivizuje učení žáka, podněcuje jeho zájem a zvídavost, rozvíjí jej a uspokojuje jeho potřebu poznání.

Lokšová a Lokša [3] definují tři hlavní kategorie, které ovlivňují motivaci žáků:

- škola – osobnost učitele, jeho kompetence, osobnost, vyučovací metody a styl, úlohy k řešení,
- osobnost žáka – kognitivní stránka jedinců,
- rodina – atmosféra, vztahy uvnitř.

Vnitřní motivace vzbuzuje zvídavost, touhu po poznání, žák získává vlastní sebehodnotu. Důležitý je pro něj výsledek, ohodnocení, které má v důsledku vliv na jeho další aktivitu [4].

V případě vnější motivace jde o prostředí ovlivňují okolí žáka. Rozhodující jsou dobré známky jako vnější výsledek, způsob vyhnout se trestům, naplnit požadavky rodičů. Odměna je výhodou, nikoliv odměnou vedoucí k rozvoji a seberealizaci.

Právě v oblasti přírodních věd je zapotřebí podporovat vnitřní motivaci žáků. Zvyšovat jejich zájem o přírodovědnou a technickou výuku a reformovat všeobecné vzdělávání přírodovědných předmětů směrem k obohacení výuky, tvorbě komunikativního prostředí. Špatné postavení předmětů fyziky a chemie v žebříčku oblíbenosti vyplývá i z dotazníkových šetření. Jediný zástupce přírodovědných oborů, který se těší oblibě žáků je biologie. Cílem učitelské praxe by mělo být naučit žáky získávat vědecké poznatky pozorováním, měřením, srovnáváním, zkoumáním i experimentováním. Takové činnosti žáky vedou k dotazování, interpretaci zjištění, diskusi, modelaci a komunikaci, je rozvíjena jejich kreativita a seberealizace [5].

Úlohy s využitím moderních technologií mohou podporovat vnitřní motivaci žáků. Výhodou je obliba mobilních telefonů u žáků, které jsou běžným a populárním nástrojem, jejich další využití je přirozené a snadné. Díky jejich funkcionalitě a technickému vybavení mohou být využívány k měření fyzikálních veličin pomocí senzorů. Stávají se tak zajímavou pomůckou v experimentálních úlohách a u žáků zvyšují motivaci k učení ve výuce fyziky. Fyzikální veličiny přitom žáci mohou měřit v reálném čase a díky rychlému zpracování výsledků získávají okamžitou zpětnou vazbu. Výuku učitel může směřovat dvěma způsoby: od teorie k praxi nebo naopak od praxe k teorii.

1.2 Digitální vzdělávání

Digitální vzdělávání má velký potenciál pro zlepšení kvality vzdělávání a přizpůsobení se moderním trendům. Vize digitálního vzdělávání do roku 2030+ v České republice je v souladu s evropskými cíli v oblasti digitální transformace. Cílem je, aby digitální technologie byly využívány jako nástroj ke zlepšení znalostí a dovedností, zvýšení individuálního učení, a aby žáci byli schopni vyhledávat, třídit a kriticky hodnotit informace.

Dalším úkolem digitálního vzdělávání by mělo být osvojení používání digitálních technologií a rozvoj unikátních dovedností, které budou moci žáci uplatnit i v dalším stupni vzdělávání a na budoucím trhu práce. Výhody digitálního vzdělávání zahrnují možnost přizpůsobení vzdělávacího procesu individuálním potřebám žáků, zvýšení motivace a zapojení žáků do vzdělávacího procesu.

Pro digitální vzdělávání je důležité moderní hardwarové vybavení a kvalifikovaní učitelé. Je proto nutné zajistit dostatečnou infrastrukturu pro digitální vzdělávání a poskytnout odbornou přípravu učitelům. Je tedy žádoucí podporovat mentoring a sdílení praxe při začleňování technologií do výuky.

Digitálního vzdělání by se mělo dostat každému žákovi. Někteří žáci však nemají přístup k digitálním technologiím a mohou výt tzv. digitálně vyloučeni. Dalším úkolem

by tedy mělo být zaplňování tzv. digitální propastí mezi žáky, aniž by se zohledňovalo jejich socioekonomické nebo jiné znevýhodnění. Pro takové případy je vhodné vytvořit podmínky ke zvyšování digitálních dovedností ve škole i mimo výuku (např. školní kluby) [6].

1.3 BYOD

Bring Your Own Device (BYOD) v překladu „přinést své zařízení“. Takové označení se používá pro možnost přinést si do školy nebo práce svá vlastní zařízení (smartphone, tablen, notebook,...).

BYOD ve školách může mít různé podoby:

- Neformální – je více méně založen na schopnostech a úspěchu jednoho učitele, který v rámci inovace výuky chce podpořit zájem u jinak pasivních žáků.
- Dobrovolný – zpravidla ve vyšších ročnících, škola zajistí připojení na školní WI-FI síť, učitelé jsou proškoleni, vytváří se dobrá praxe.
- Plánovaný a řízený – vedení školy má jasný cíl, spolupracuje s rodiči, může jít cestou hromadných nákupů zařízení, posiluje vlastní technologická zařízení a technickou podporu, metodickou podporu.

Přínosem využívání vlastních mobilních zařízení žáků je zpravidla zlepšení efektivity výuky a zvýšení zájmu žáků, rozvoj jejich digitálních kompetencí, motivuje rozšiřuje zájem o učení nejen ve školách, ale i mimo ně, zvyšuje angažovanost rodin. Naopak klade vyšší nároky na učitele (různorodost mobilních zařízení a jejich technické vybavení pro plnění úkolů, národní rozdíly a jazykové bariéry, problémy s IT podporou, ochranou dat a kybernetickou bezpečností), zviditelní socioekonomické problémy mezi žáky (obavy rodičů z odcizení zařízení, kyberšikany, zvýšení šikany, nadměrného užívání s dopadem na zdraví apod.) [7].

Literatura [8] je studie, která se zabývá otázkou využívání mobilních zařízení (chytrých telefonů) při experimentech ve fyzikální výuce. Závěrem výzkumu, který byl zaměřen na fyzikální experimenty mimo školní laboratoř a účastnilo se ho 52 šestnáctiletých studentů, bylo konstatování, že lze podporovat integraci chytrých mobilních zařízení studentů při fyzikálním měření a experimentech ve výuce fyziky bez větších problémů. Předpokladem je však důkladná příprava učitele, plánování, výběr vhodných aplikací do mobilních zařízení, a také časová příprava samotných studentů.

Na možné technické problémy pro fyzikální měření žáků za využití vlastních mobilních zařízení poukazuje studie Kateris Alexandrosa a kol. [9]. Statisticky významné rozdíly byly zjištěny při používání světelných senzorů mobilních telefonů. Indikace osvětlení se totiž u jednotlivých zařízení významně liší. Autoři poukazují na skutečnost, že mobilní zařízení nejsou spolehlivými fotometry. Naopak nevýznamné odchylky byly zjištěny při použití senzorů zvukových a akcelerometru. Pro výzkum bylo zvoleno 7 různých druhů nejoblíbenějších chytrých telefonů užívaných žáky ve vybrané škole s operačními systémy iOS a Android. Obě studie v závěru podporují aplikaci BYOD do vzdělávání žáků při fyzikálních experimentech jako prostředek k dalšímu rozvoji žáků a pochopení učiva. Ovšem zároveň poukazují na nutnost a schopnost učitele vyhodnotit i technická úskalí těchto zařízení, která se mohou projevit v realitě školní výuky. Klade to tedy vyšší nároky na práci učitele, jeho přípravu na výuku ve školách.

Pokud učitel přijme BYOD, pak se musí umět vyrovnat s různorodostí typů mobilních zařízení, jejich funkcemi a schopnostmi využívat potřebné aplikace. Zároveň by měl volit aplikace dostupné, snadno použitelné a ovladatelné, s možností přímého zpracování dat a jejich následného exportu [9].

Kapitola 2

Senzory

Chytré telefony a tablety mají mnoho funkcí, které využíváme téměř denně. Senzory (čidla, snímače) využíváme automaticky a možná si ani neuvědomujeme, že zrovna některý z nich používáme. Tyto snímače lze velmi snadno využít právě pro měření fyzikálních veličin nebo pomocí nich zkoumat některé jevy. Prostřednictvím nainstalovaných aplikací je mohou učitelé využít například i při výuce fyziky na školách a žákům tak přiblížit zkoumané jevy jiným způsobem.

Vzhledem k tomu, že na trhu je dnes velký výběr těchto zařízení a každý model má jiné funkce, můžeme pomocí aplikací zjistit, jaké senzory obsahuje konkrétní telefon. Pro operační systém iOS lze využít aplikaci SensorLog (placená) a pro Android aplikaci AndroSensor (volně ke stažení). Některé senzory se v telefonech nachází u horního okraje obrazovky kolem sluchátka (viz obrázek 2.1). Ostatní pak uvnitř telefonu na základní desce. Nyní si uvedeme některé senzory, které se nacházejí v mobilních telefonech a tabletech [10].

2.1 Akcelerometr

Senzor akcelerometru se používá pro mnoho různých aplikací v telefonech, včetně stabilizace obrazu, detekce otřesů, měření kroku, ovládání her a mnoho dalšího. V telefonech se akcelerometr obvykle nachází v blízkosti obrazovky.

V mobilních zařízeních se používají kapacitní akcelerometry MEMS. Funkční princip tohoto zařízení spočívá v použití závažíčka, které je uchyceno na pružinách. Jedna strana pružin je spojena s deskami hřebenového kondenzátoru a druhá strana je připojena k závaží. Pokud působí síla na tento senzor, závaží se pohybuje po pružinách, což způsobuje změnu vzdálenosti mezi kondenzačním elementem a závažíčkem a tím ovlivňuje kapacitu.

Akcelerometr v telefonech měří zrychlení a detekuje změnu polohy telefonu. Měří v jednotkách tíhového zrychlení g a může měřit zrychlení v jedné, dvou nebo třech rovinách. Soustava nejpoužívanějšího tříosého akcelerometru se skládá ze tří akcelerometrů, kde každý měří jednu z rovin x, y nebo z. Obrázek 2.2 znázorňuje orientace souřadných os akcelerometru [12].

2.2 Gyroskop

V mobilních telefonech se gyroskop obvykle nachází v blízkosti akcelerometru a jeho funkcí je detekovat náklon zařízení. Je založen na technologii MEMS jako akcelerometr.

Gyroskop umožňuje zjistit, v jakém směru a jak rychle se telefon otáčí, což umožňuje například upravit zobrazení obrazovky v závislosti na směru, jakým je telefon natočen. Může být také využit pro sledování pohybu telefonu při hraní her nebo pro ovládání virtuální reality, kde je důležité detekovat pohyb zařízení a jeho přenos do virtuální reality [13].

2.3 Magnetometr

Slouží k měření magnetického pole v okolí. Používá se např. pro navigaci nebo při hledání konkrétních míst v reálném světě s využitím rozšířené reality. Tento senzor měří velikost magnetické indukce. Většina moderních telefonů používá senzory magnetometru na bázi Hallovy sondy, která měří magnetické pole v jedné nebo více osách [14].

2.4 GPS senzor

Používá se pro mapové aplikace, navigaci, vyhledávání míst nebo také může být využit k měření rychlosti a vzdálenosti například při běhu nebo jízdě na kole. Je vhodný i pro geotagování fotografií a videí, což umožňuje zobrazovat místo, kde byla fotografie pořízena.

Tento senzor slouží k určení polohy telefonu pomocí signálů z globálního polohového systému (GPS). Využívá signály satelitů, které obíhají okolo Země, a vypočítává polohu telefonu pomocí triangulace [13].

2.5 Senzor přiblížení

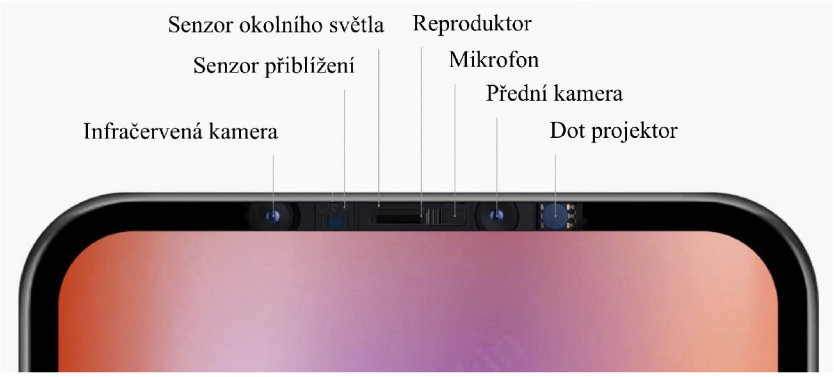
Senzor přiblížení (proximity senzor nebo čidlo přiblížení) slouží k automatickému vypnutí displeje, když je telefon přiložen k uchu během hovoru nebo když je blízko obličeje. Zabraňuje tedy nechtěnému dotyku obrazovky při hovoru. Výhodou je i úspora baterie, protože vypnutí displeje při telefonování snižuje spotřebu energie. Tento senzor využívá infračerveného záření k měření vzdálenosti mezi telefonem a objektem před ním. Čidlo přiblížení je tvořeno infradiodou a infradetektorem (viz obrázek 2.3). Pokud začneme telefonem volat, čidlo detekuje odrazy IR záření, které bylo vyzařováno infradiodou [15].

2.6 Senzor okolního světla

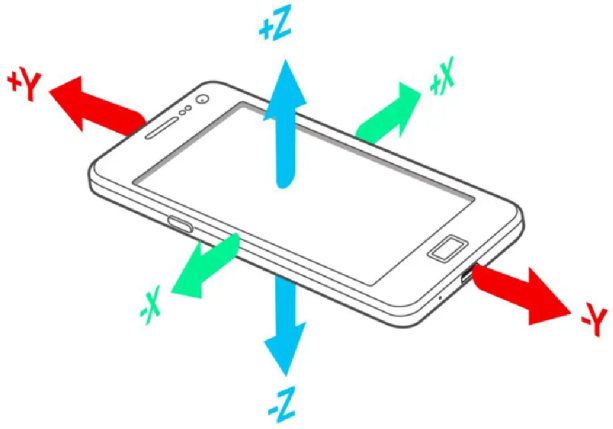
K automatickému přizpůsobení jasu displeje v závislosti na osvětlení v okolí slouží senzor okolního světla. Používá se k udržování optimálního jasu displeje pro pohodlné čtení a ochranu očí uživatele. Senzor měří intenzitu okolního světla a poskytuje informaci telefonu, který pak automaticky přizpůsobí jas displeje na základě těchto informací. Jeho výhodou je šetření baterie telefonu [16].

2.7 Další senzory a součásti telefonů

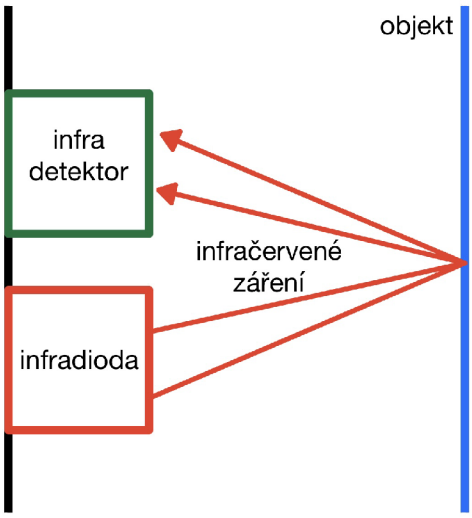
- **Mikrofon** – chytrý telefon má v sobě zabudováno hned několik mikrofonů např. pro lepší čistotu zvuku při hovoru nebo pro natáčení videa se zvukem.
- **Barometr** – senzor měřicí atmosférický tlak. Používá se pro přesné měření nadmořské výšky a doplňuje tak informace získané GPS. Napomáhá také k určení polohy telefonu.
- **Senzor dotyku** – zaznamenává dotyk prstu na obrazovce. Umožňuje interakci s telefonem a je důležitý pro ovládání telefonu.
- **Senzor otisků prstů** – umožňuje uživatelům odemknout telefon pomocí otisku prstů. Využívá se zejména pro zabezpečení telefonu.
- **Dot projektor** – slouží k rozpoznávání tváře člověka. Je to malý projektor, který vysílá neviditelné body na obličej. Z bodů se vytvoří síť, která je snímána infračervenou kamerou a v telefonu se přemění na matematický model. Telefon pak pomocí tohoto modelu rozpozná stejnou tvář [16, 17, 18].



Obrázek 2.1: Senzory v telefonu, převzato z [19]



Obrázek 2.2: Orientace os akcelerometru, převzato z [20]



Obrázek 2.3: Senzor přiblížení

Kapitola 3

Aplikace pro měření

3.1 Phyphox

Phyphox je mobilní aplikace, která slouží k měření různých fyzikálních veličin pomocí senzorů v mobilním zařízení. Aplikace byla vyvinuta jako projekt pro popularizaci vědy a k obohacení a zpestření výuky. Lze ji používat na zařízeních s operačním systémem Android nebo iOS a je ke stažení zdarma. Existuje také webová stránka `https://phyphox.org/` k této aplikaci pro podporu uživatelů po celém světě. Na stránce jsou k dispozici i ukázky některých experimentů. Na rozdíl od webových stránek, které jsou především v anglickém nebo německém jazyce, aplikace nabízí větší výběr jazyků, a to i češtinu. Pro žáky je tak snazší se v aplikaci orientovat.

Aplikace umožňuje provádět různé experimenty a měření, jako jsou například měření zrychlení, otáček, indukce magnetického pole, světelné intenzity a mnoho dalšího. Výsledky jsou zobrazovány v reálném čase na obrazovce mobilního zařízení a mohou být uloženy pro pozdější zpracování. Podobná aplikace je např. Physics Toolbox Sensor Suite.

Aplikace v současné době podporuje následující senzory jako vstupy pro data: akcelerometr, magnetometr, gyroskop, světelný senzor, senzor tlaku, senzor přiblížení, mikrofon, GPS/poloha. Telefony nemají stejné senzory, a proto tvůrci aplikace na svých stránkách uvádějí, že v budoucnu budou přidány i další senzory. Poté bude mít schopnost nabídnout použití těch senzorů, které jsou k dispozici na používaném telefonu. Ostatní nelze používat.

Některá naměřená data, aplikace dokáže vyhodnotit okamžitě, jiná je však potřeba exportovat do dalších aplikací nebo programů v počítači. Jedním z nejznámějších a nejrozšířenějších programů na zpracování dat je MS Excel, ve kterém můžeme i ověřovat fyzikální vztahy a vykreslovat závislosti naměřených veličin na čase.

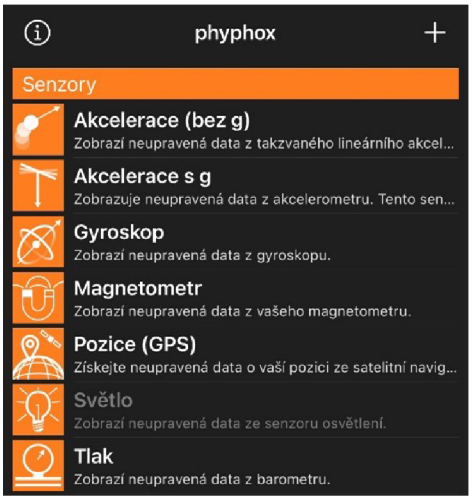
Další funkcí *phyphoxu*[1] je, že lze ovládat na dálku z jakéhokoliv zařízení, které je připojené ke stejné wifi síti jako telefon s aplikací a má aktuální webový prohlížeč. Na výše zmíněných webových stránkách je uvedený postup i s video návodem, jak zařízení propojit a použít [21].

3.1.1 Používání aplikace

Jakmile spustíme aplikaci, zobrazí se upozornění před možným poškozením telefonu při experimentech. Uživatelé by se měli tedy vyhnout především upuštění telefonu na

[1] Ve shodě s domovskou stránkou programu jeho název píšeme s malým počátečním písmenem.

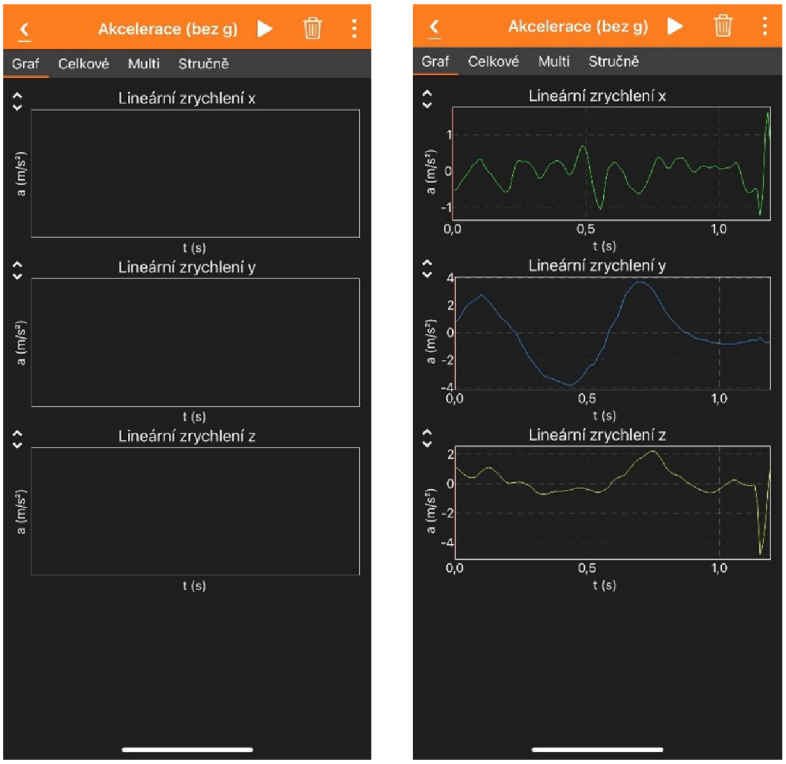
tvrdý povrch, anebo vystavení telefonu příliš silnému magnetickému poli. Následně se uživateli zobrazí seznam senzorů (viz obrázek 3.1). Ty, které lze použít jsou rozsvícené, a které nelze použít jsou zašedlé. Následně jsou funkce aplikace rozděleny do několika skupin, podle oblasti fyziky. Rozdělení funkcí je na obrázku 3.2.



Obrázek 3.1: Seznam senzorů v aplikaci phyphox

Obrázek 3.2: Funkce aplikace phyphox

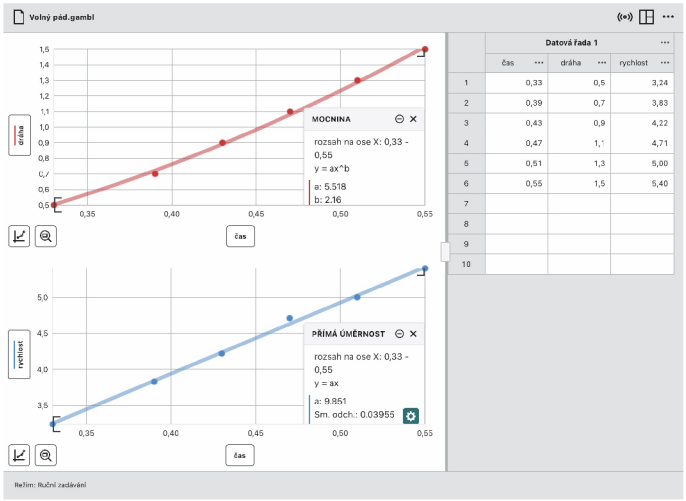
Po zvolení konkrétní funkce se na obrazovce objeví informace k experimentu. Na horní liště se pak zobrazí sekce potřebné pro detailní nastavení a dále pak naměřená data i jejich historie. Na obrázku 3.3 je ukázka měření zrychlení.



Obrázek 3.3: Ukázka experimentu v aplikaci phyphox

3.2 Vernier Graphical Analysis

Aplikace určená pro vizualizaci, analýzu a interpretaci výsledků fyzikálních experimentů. Uživatelům aplikace umožňuje uživatelům importovat data z různých zdrojů včetně vernierovských senzorů a vytvářet grafy, tabulky a výkresy pro vizuální analýzu výsledků. Obsahuje řadu funkcí pro zpracování dat včetně statistické analýzy, výpočtu regrese, integrace, derivace atd. Aplikace je vytvořena pro Android i iOS [22].



Obrázek 3.4: Ukázka ručně zadaných hodnot do programu Vernier Graphical Analysis

3.3 Playground Physics

Aplikace vhodná pro jednoduchou videoanalýzu pohybu. Je v ní uloženo několik videí pro možné použití, pokud nemáte vlastní video. Záznam je možné natočit přímo zařízením, na kterém aplikaci využíváme, nebo lze nahrát již předtočené video výběrem z knihovny obrázků a videí. Aplikace však nepřijme video točené na výšku. Následně lze pomocí jednotlivých bodů trasovat pohyb objektu, který zkoumáme. U záznamu je rovněž možnost využít zpomaleného pohybu. Po vyznačení všech bodů pohybu je důležité zadat vstupní parametry vzdálenosti (výška, hmotnost tělesa). V nastavení aplikace lze zvolit buď metrický systém jednotek nebo imperiální jednotky. Aplikace nabízí měření vzdálenosti a rychlosti horizontálně, vertikálně nebo celkově. Dále lze v aplikaci zvolit záložku síly a také energie.

Aplikace je dostupná pouze pro operační systém iOS. Pro ostatní operační systémy slouží aplikace online verzí na webových stránkách `https://playgroundphysicsapp.org/`. Video zde můžeme také buď nahrát z galerie obrázků, nebo přímo natočit nové. Aplikace je v anglickém jazyce.

Pro detailnější videoanalýzu pohybu se využívá program *Tracker*, který je však dostupný pouze pro počítače. Program lze do zařízení stáhnout z internetu bez poplatku, může ho tak využít opravdu každý.

Kapitola 4

Experimenty

4.1 Rovnoměrný přímočarý pohyb

4.1.1 Teoretický úvod

Průměrná rychlost na dané části trajektorie o délce Δs je dána vztahem

$$v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \tag{4.1}$$

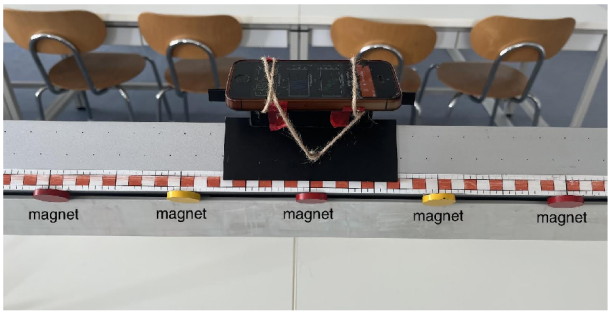
kde Δt je doba, za kterou těleso urazí dráhu Δs. Pro výpočet průměrné rychlosti tělesa na celé trajektorii využijeme operaci součtu jednotlivých délek úseků a jejich příslušných dob podle vzorce

$$v_p = \frac{\text{celková dráha}}{\text{celkový čas}} = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots}. \tag{4.2}$$

Při rovnoměrném přímočarém pohybu se velikost okamžité rychlosti rovná rychlosti průměrné. Při tomto experimentu tedy lze ověřit základní vlastnosti tohoto pohybu a testovat, zda velikost průměrné rychlosti je rovna velikosti okamžité rychlosti tělesa [23].

4.1.2 Popis experimentu

K experimentu jsme využili vzduchovou vozíčkovou dráhu a telefon s aplikací *phyphox*. Na vozíčkovou dráhu jsme upevnili magnety ve stejných vzdálenostech Δs. Telefon jsme pomocí provázku a lepicí pásky připevnili k vozíčku a zapnuli měřicí aplikaci (viz obrázek 4.1). Zvolili jsme funkci „magnetometr“, která měří intenzitu magnetického pole v okolí telefonu v závislosti na čase ve všech souřadných osách x, y, z. Po zapnutí vzduchového generátoru byl vozík se smartphonem uveden do pohybu. Z vykresleného grafu v aplikaci lze odečíst časové intervaly na jednotlivých úsecích trajektorie [24].

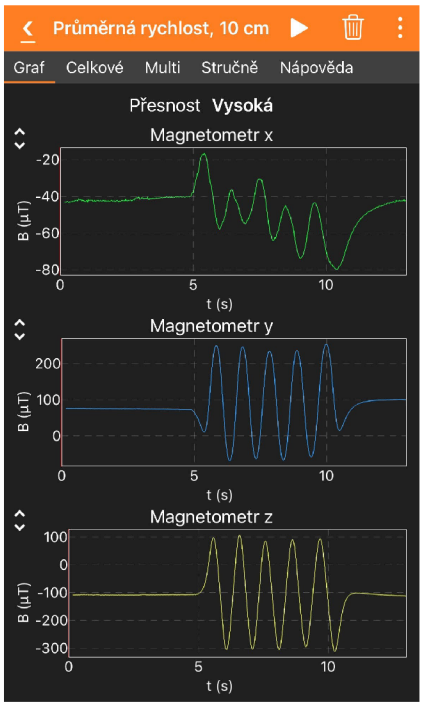


Obrázek 4.1: Telefon upevněný na vozíčku

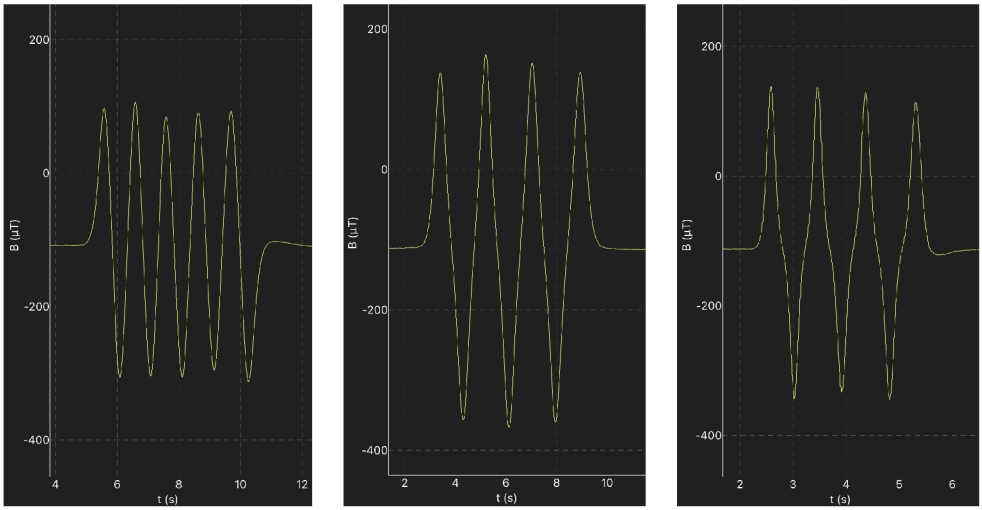
4.1.3 Naměřené hodnoty a výsledky

Provedli jsme tři měření se třemi různými vzdálenostmi mezi magnety. Magnety rozmístíme podél dráhy tak, že sousední mají vždy opačně orientované magnetické póly; severní a jižní se střídají. Z grafu odečítáme hodnoty času mezi jednotlivými výchylkami.

Zavedeme následující značení veličin: l je vzdálenost jednotlivých magnetů mezi sebou, s pozice magnetu od počátku měření, t čas měřený na daném úseku dráhy.



Obrázek 4.2: Ukázka naměřených hodnot intenzity magnetického pole v závislosti na čase při vzájemné vzdálenosti magnetů 10 cm

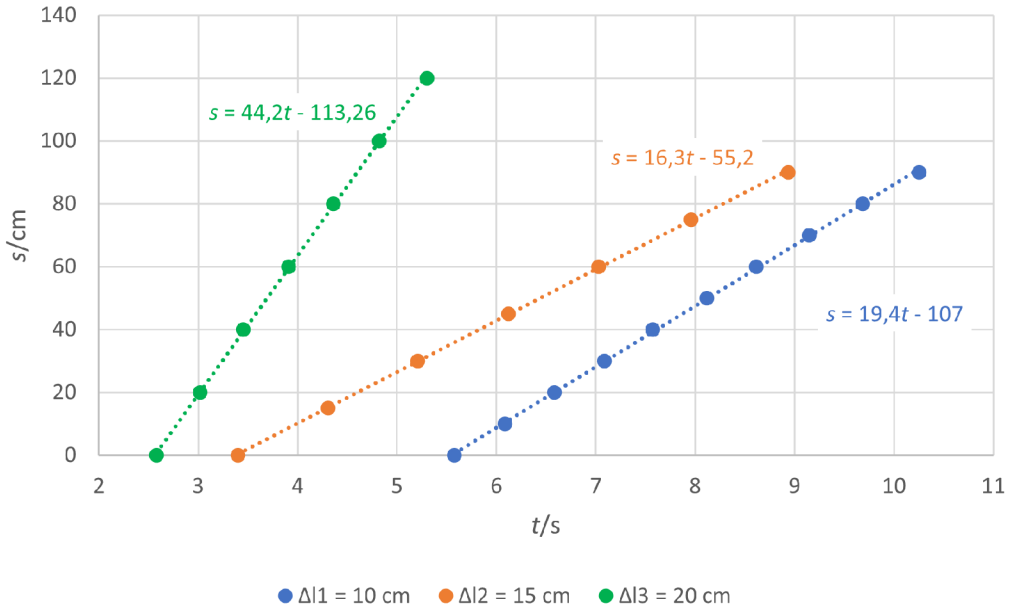


Obrázek 4.3: Naměřené hodnoty intenzity magnetického pole pro vzdálenost magnetů po řadě 10 cm, 15 cm a 20 cm ve směru osy z

Tabulka 4.1: Naměřený čas

	$\Delta l_1 = 10$ cm		$\Delta l_2 = 15$ cm		$\Delta l_3 = 20$ cm	
výchylka	t_1/s	s_1/cm	t_2/s	s_2/cm	t_3/s	s_3/cm
1	5,575	0	3,399	0	2,581	0
2	6,085	10	4,309	15	3,021	20
3	6,585	20	5,209	30	3,451	40
4	7,085	30	6,119	45	3,911	60
5	7,575	40	7,029	60	4,361	80
6	8,115	50	7,958	75	4,821	100
7	8,615	60	8,938	90	5,301	120
8	9,145	70				
9	9,684	80				
10	10,254	90				

U vzdáleností $\Delta l_2 = 15$ cm a $\Delta l_3 = 20$ cm jsme mohli naměřit pouze sedm hodnot, protože jsme byli omezeni délkou vzduchové dráhy.



Obrázek 4.4: Závislost dráhy na čase

Z obrázku 4.4 je patrné, že závislost dráhy na čase je lineární. Ověřili jsme, že velikost rychlosti na jednotlivých úsecích dráhy se téměř nemění. Dále můžeme pomocí naměřených hodnot, uvedených v tabulce 4.1, určit průměrnou rychlost pohybu na konkrétních částech dráhy. Vzhledem k tomu, že se vozík s telefonem pohyboval rovnoměrně přímočaře, měly by se vypočtené hodnoty průměrných rychlostí na stejně dlouhých úsecích shodovat. Vypočtené hodnoty časových úseků jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2: Vypočtené časové intervaly a rychlosti v těchto intervalech

$\Delta l_1 = 10\,\mathrm{cm}$		$\Delta l_2 = 15\,\mathrm{cm}$		$\Delta l_3 = 20\,\mathrm{cm}$	
$\Delta t_1/\mathrm{s}$	$\Delta v_1/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	$\Delta t_2/\mathrm{s}$	$\Delta v_2/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	$\Delta t_3/\mathrm{s}$	$\Delta v_3/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
0,510	19,6	0,910	16,5	0,440	45,5
0,500	20,0	0,900	16,7	0,430	46,5
0,500	20,0	0,910	16,5	0,460	43,5
0,490	20,4	0,910	16,5	0,450	44,4
0,540	18,5	0,929	16,1	0,460	43,5
0,500	20,0	0,980	15,3	0,480	41,7
0,530	18,9				
0,539	18,6				
0,570	17,5				

Protože průměrná rychlost je dána vztahem (4.1), kde $\Delta s = 10\,\mathrm{cm}$ pro všechny intervaly, pak všechny hodnoty rychlostí v jednotlivých intervalech by si měly být rovny. Vzhledem k různým hodnotám časových intervalů tomu tak ale není. Protože se průměrné rychlosti v jednotlivých intervalech mění (a ke konci experimentu, nejspíše díky odporu prostředí, který se nepodaří úplně eliminovat, klesá), můžeme vypočítat aritmetický průměr rychlostí v jednotlivých intervalech (označíme jej jako v).

Tabulka 4.3: Velikost rychlostí přímočarého pohybu

$\Delta l/\mathrm{cm}$	$v_p/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	$v/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$
10	19,2	19,3
15	16,2	16,3
20	44,1	44,2

Vozík jsme uváděli do pohybu rukou, proto se v jednotlivých měřeních průměrné rychlosti liší.

4.1.4 Zhodnocení

Při sestrojování aparatury bylo trochu obtížné umístit telefon do takové polohy, aby byl vozíček vyvážený. Jinak by se vozík nakláněl k jedné straně a měření by bylo ovlivněno třením. Nakonec jsme problém vyřešili pomocí provázku a lepicí pásky.

Při měření jsme vozík uváděli do pohybu rukou, tedy nemůžeme porovnat výsledky všech rychlostí mezi sebou pro všechny vzdálenosti magnetů Δl jako uvádí [24]. Experiment jsme tedy upravili na ověření rovnosti velikosti průměrné rychlosti a rychlostí, jež mají nejblíže k „okamžitým“ rychlostem v jednotlivých úsecích. V tabulce 4.3 můžeme vidět, že hodnoty průměrných rychlostí jsou vždy menší než průměrné velikosti „okamžitých“ rychlostí. Relativní chyby měření pro jednotlivé vzdálenosti l jsou $0,5\,\%$, $0,6\,\%$ a $0,2\,\%$. Hodnoty získané lineární regresí na obrázku 4.4 jsou stejné, jako hodnoty v (pro l_1 se liší o $0,1\,\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$).

Můžeme tedy tvrdit, že měření je vhodné pro zařazení do výuky fyziky, především do laboratorních cvičení. Žáci tak budou mít možnost měřit čas pohybu nejenom pomocí stopek, jak tomu bývá u většiny experimentů prováděných na školách v oblasti mechaniky.

4.1.5 Pracovní list

Laboratorní práce č.

Název: Rovnoměrný přímočarý pohyb
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Vůbec nejjednodušším případem rovnoměrného pohybu je pohyb rovnoměrný přímočarý. Při tomto pohybu se těleso pohybuje po přímé trajektorii. Během pohybu je rychlost tělesa konstantní. Tedy dráhy, které těleso urazí za stejný časový interval, jsou stejně veliké. Velikost rychlosti tělesa na časovém intervalu $t - t_0$ můžeme určit ze vztahu

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0},$$

kde s_0 je velikost dráhy v čase t_0 a s dráha v čase t. U tohoto pohybu je velikost okamžité rychlosti rovna rychlosti průměrné.

Závislost dráhy na čase u rovnoměrného přímočarého pohybu je část přímky. Tato přímka začíná v počátku souřadnicového systému a má rovnici

$$s = vt.$$

Pokud se těleso v čase $t_0 = 0$ s nachází ve vzdálenosti s_0 od zvoleného počátku, pak má rovnice tvar

$$s = s_0 + vt.$$

Polopřímka v tomto případě začíná na vertikální ose dráhy. Obráceně je tomu v případě, že se těleso nepohybovalo od počátku měření. Tedy po dobu t_0 těleso zůstalo v původní poloze a začalo se pohybovat až v čase t. Polopřímka grafu pak začína na časové ose. Tento pohyb je popsán rovnicí ve tvaru

$$s = v(t - t_0).$$

Pomůcky

Vzduchová vozíčková dráha s příslušenstvím, telefon s aplikací phyphox, magnety, provázek, lepicí páska, kancelářská lepicí guma, měřicí pásmo.

Úkol č. 1: Ověřte přímou úměrnost mezi dráhou a časem rovnoměrného přímočarého pohybu.

Postup

1. Na vozíčkovou dráhu umístíme ve stejně zvolených vzdálenostech Δl magnety tak, aby v jejich blízkosti mohl telefon snímat magnetické pole a zároveň nevadily pohybu vozíčku. Orientaci pólů magnetu volíme vždy opačnou, než u předchozího magnetu.

2. Na vozíček připevníme telefon pomocí provázku nebo lepicí pásky. Vozík musí být vyvážený a telefon dobře ovladatelný.

3. Vozík umístíme na vozíčkovou dráhu. Na telefonu v aplikaci *phyphox* zvolíme možnost měření pomocí magnetometru. Zmáčkneme tlačítko spustit a telefon začne měřit data. Dále pak rozpohybujeme vozík tak, aby se pohyboval rovnoměrně.

4. Po skončení pohybu stopneme měření v aplikaci a naměřená data si pojmenujeme a uložíme pro další možné zpracování dat.

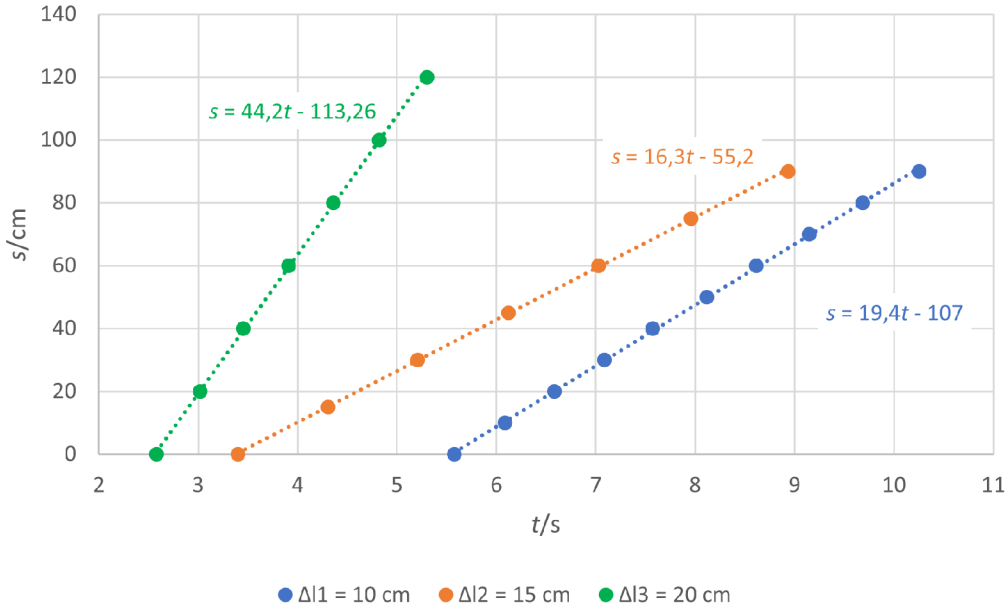
5. Z možných grafů naměřených telefonem vybereme takový, na kterém se nejpravidelněji střídají kladné a záporné píky. Nakonec do tabulky zapíšeme hodnoty času pro příslušné výchylky v grafu. Z naměřených hodnot sestrojíme graf závislosti dráhy rovnoměrného přímočarého pohybu na čase.

Naměřené hodnoty a výsledky

s je vzdálenost magnetu od počátku (pozice magnetu)

Tabulka 4.4: Naměřený čas

	$\Delta l_1 = 10$ cm		$\Delta l_2 = 15$ cm		$\Delta l_3 = 20$ cm	
výchylka	t_1/s	s_1/cm	t_2/s	s_2/cm	t_3/s	s_3/cm
1	5,575	0	3,399	0	2,581	0
2	6,085	10	4,309	15	3,021	20
3	6,585	20	5,209	30	3,451	40
4	7,085	30	6,119	45	3,911	60
5	7,575	40	7,029	60	4,361	80
6	8,115	50	7,958	75	4,821	100
7	8,615	60	8,938	90	5,301	120
8	9,145	70				
9	9,684	80				
10	10,254	90				



Obrázek 4.5: Závislost dráhy na čase

Úkol č. 2: Ověřte rovnost velikostí průměrné a okamžité rychlosti rovnoměrného přímočarého pohybu.

Postup

1. Z naměřených hodnot v úkolu č. 1 vypočítáme velikost průměrné rychlosti a průměr rychlostí v jednotlivých intervalech a výsledky porovnáme.

Naměřené hodnoty a výsledky

Výpočty:

pro $\Delta l_1 = 10\,\mathrm{cm}$ je první časový interval $\Delta t_1 = (6,085 - 5,575)\,\mathrm{s} = 0,510\,\mathrm{s}$,

$$v_p = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \ldots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots} = \frac{10 + 10 + 10 + \cdots + 10}{0,510 + 0,500 + 0,500 + \cdots + 0,570}\,\mathrm{cm \cdot s^{-1}} = 19,4\,\mathrm{cm \cdot s^{-1}},$$

$$v = \frac{v_1 + v_2 + \cdots + v_n}{n} = \frac{19,6 + 20,0 + \cdots + 17,5}{9}\,\mathrm{cm \cdot s^{-1}} =$$
$$= 19,3\,\mathrm{cm \cdot s^{-1}}.$$

Tabulka 4.5: Vypočtené časové intervaly a jejich rychlosti

$\Delta l_1 = 10\,\mathrm{cm}$		$\Delta l_2 = 15\,\mathrm{cm}$		$\Delta l_3 = 20\,\mathrm{cm}$	
$\Delta t_1/\mathrm{s}$	$\Delta v_1/\mathrm{cm \cdot s^{-1}}$	$\Delta t_2/\mathrm{s}$	$\Delta v_2/\mathrm{cm \cdot s^{-1}}$	$\Delta t_3/\mathrm{s}$	$\Delta v_3/\mathrm{cm \cdot s^{-1}}$
0,510	19,6	0,910	16,5	0,440	45,5
0,500	20,0	0,900	16,7	0,430	46,5
0,500	20,0	0,910	16,5	0,460	43,5
0,490	20,4	0,910	16,5	0,450	44,4
0,540	18,5	0,929	16,1	0,460	43,5
0,500	20,0	0,980	15,3	0,480	41,7
0,530	18,9				
0,539	18,6				
0,570	17,5				

Tabulka 4.6: Vypočtené hodnoty rychlostí

$\Delta l/\mathrm{cm}$	$v_p/\mathrm{cm \cdot s^{-1}}$	$v/\mathrm{cm \cdot s^{-1}}$
10	19,2	19,3
15	16,2	16,3
20	44,1	44,2

Závěr

Ověřovali jsme přímou úměrnost mezi dráhou a časem rovnoměrného přímočarého pohybu a také rovnost velikosti průměrné a „okamžité“ rychlosti tohoto pohybu pomocí vozíčkové dráhy. Z naměřených hodnot času a dráhy jsme sestrojili graf dráhy (viz obrázek 4.5). Můžeme vidět, že závislost je lineární u všech tří pohybů. Měření tedy bylo úspěšné.

V dalším úkolu jsme určili časové intervaly na jednotlivých úsecích dráhy a vypočítali průměrnou i okamžitou rychlost vozíčku. V tabulce 4.6 jsou všechny tyto hodnoty. Hodnoty pro v se také shodují s hodnotami rychlostí určené lineární regresí na obrázku 4.5 (pro l_1 se liší o $0,1\,\mathrm{cm \cdot s^{-1}}$). Relativní chyby měření pro jednotlivá l jsou $0,5\,\%$, $0,6\,\%$ a $0,2\,\%$. Chyba měření mohla být způsobena vyšší rychlostí vozíčku s telefonem, který měřil magnetické pole.

4.2 Volný pád

4.2.1 Teoretický úvod

Volný pád je případ přímočarého rovnoměrně zrychleného pohybu s nulovou počáteční rychlostí vzhledem k povrchu Země. Koná jej těleso volně padající ve vakuu. Konstantním zrychlením je tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}$ a jeho vektor směřuje vždy svisle dolů. Pokud bychom neuvažovali odporovou a vztlakovou sílu vzduchu, pak i těleso padající volně ve vzduchu koná volný pád.

Pro dráhu s volného pádu platí vztah

$$s = \frac{1}{2}gt^2, \tag{4.3}$$

kde t je čas volného pádu. Vztah pro rychlost je pak dán ve tvaru

$$v = gt. \tag{4.4}$$

Dráha ani rychlost volného pádu nezávisí na hmotnosti volně padajícího tělesa [23].

4.2.2 Popis experimentu

Pro měření času volného pádu využijeme funkci „akustické stopky“, které měří čas mezi dvěma zvukovými událostmi. U stopek lze nastavit i práh měření, který zajišťuje jejich správné spuštění. Jinými slovy stopky nespustí šum v pozadí, ale nějaký hlasitější zvukový signál. Dále lze nastavit minimální zpoždění, aby nedocházelo k zastavení měření vlivem ozvěny nebo zvuků vibrací.

Na stojan jsme připevnili nejprve delší pravítko, které se však po zatížení moc ohýbalo a těleso po něm klouzalo dolů. Následně jsme tedy pravítko nahradili kovovým posuvným měřítkem, které již vyhovovalo měření. Na volný konec posuvného měřítka jsme umístili malé závaží. Pod stojan jsme umístili kovou podložku jako ochranu podlahy a také pro lepší zvukový signál. Aparatura je znázorněna na obrázku 4.6.

Na stůl vedle stojanu jsme umístili telefon se spuštěnou aplikací a začali s měřením. Nůžkami jsme rychlým pohybem uhodili do posuvného měřítka. Tím se spustily stopky. Jakmile závaží dopadlo na podložku, stopky se zastavily. Naměřené hodnoty jsme zapisovali do tabulky [25].

Obrázek 4.6: Volný pád – aparatura

4.2.3 Naměřené hodnoty a výsledky

Nejprve jsme chtěli ověřit vztah pro výpočet dráhy volného pádu. Naměřili jsme hodnoty času volně padajícího tělesa pro pět konkrétních výšek. Určíme jeho průměrnou hodnotu i směrodatnou odchylku s_t. Pomocí výpočtu dráhy podle rovnice (4.3) porovnáme přesnost měření. Zavedeme označení h pro naměřenou výšku a s pro vypočtenou dráhu volného pádu.

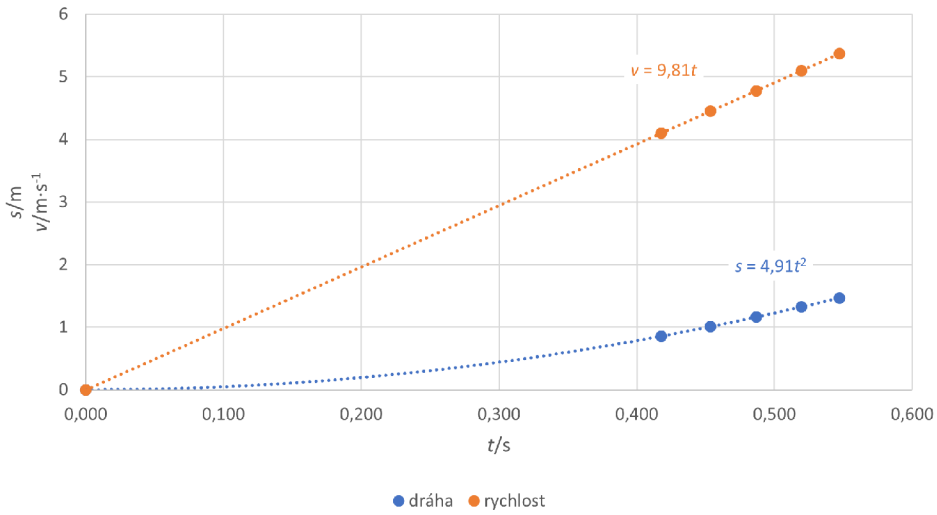
Tabulka 4.7: Naměřený čas volného pádu

	$h_1 = 0,80\,\mathrm{m}$	$h_2 = 0,95\,\mathrm{m}$	$h_3 = 1,10\,\mathrm{m}$	$h_4 = 1,25\,\mathrm{m}$	$h_5 = 1,40\,\mathrm{m}$
měření	t_1/s	t_2/s	t_3/s	t_4/s	t_5/s
1	0,423	0,448	0,485	0,521	0,545
2	0,421	0,452	0,485	0,520	0,542
3	0,414	0,457	0,494	0,521	0,543
4	0,415	0,456	0,487	0,515	0,556
5	0,416	0,455	0,483	0,520	0,549
$\bar{t}/\mathrm{s}$	0,418	0,454	0,487	0,519	0,547
s_t/s	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003

Následně uvádíme závislost dráhy na čase a rychlosti na čase volného pádu vypočtenou z naměřených hodnot podle vztahů (4.3) a (4.4).

Tabulka 4.8: Vypočtená dráha a rychlost volného pádu

t/s	0,418	0,454	0,487	0,519	0,547
s/m	0,857	1,01	1,16	1,32	1,47
$v/\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	4,10	4,45	4,78	5,09	5,37



Obrázek 4.7: Závislost dráhy a rychlosti na čase volného pádu

Ověření nezávislosti doby pádu na hmotnosti tělesa jsme provedli měřením pro dvě různě těžká závaží ve dvou různých výškách h. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.9. Následně jsme dopočítali tíhové zrychlení pomocí rovnice (4.3) a porovnáme s teoretickou hodnotou $g = 9,81\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Vypočítali jsme relativní chybu měření δ.

Tabulka 4.9: Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_1 a m_2 při dráze h

m_1	$h_1 = 0,8$ m	$h_2 = 1,4$ m
měření	t_1/s	t_2/s
1	0,423	0,545
2	0,421	0,542
3	0,414	0,543
4	0,415	0,556
5	0,416	0,549
$\bar{t}$/s	0,418	0,547
s_t/s	0,004	0,005

m_2	$h_1 = 0,8$ m	$h_2 = 1,4$ m
měření	t_1/s	t_2/s
1	0,445	0,549
2	0,429	0,548
3	0,402	0,544
4	0,416	0,546
5	0,422	0,549
$\bar{t}$/s	0,423	0,547
s_t/s	0,01	0,002

Tabulka 4.10: Tíhové zrychlení pro m_1 a m_2

m_1		
h/m	0,80	1,40
$\bar{t}$/s	0,42	0,55
$g/\mathrm{m \cdot s^{-2}}$	9,16	9,36
δ_g/%	6,6	4,6

m_2		
h/m	0,80	1,40
$\bar{t}$/s	0,42	0,55
$g/\mathrm{m \cdot s^{-2}}$	8,94	9,36
δ_g/%	8,8	4,6

4.2.4 Zhodnocení

Porovnáním hodnot výšek h v tabulce 4.7 a vypočtených drah s uvedených v tabulce 4.8, se liší v průměru o 6,4 cm. Přesnosti měření by tedy bylo možné dosáhnout větším počtem měření, nebo spíše upravením aparatury. Pravděpodobně dochází ke zpoždění při uhození do posuvného měřítka, kdy se spouští stopky a těleso se ještě nachází na upevněném posuvném měřítku.

Je možné využít aparatury s nafukovacím balónkem, na kterém je těleso přivázáno. Stopky se spustí propíchnutím balónku. Tato metoda ale vyžaduje použití většího počtu balónků. Tento postup je také zachycen na videu [25].

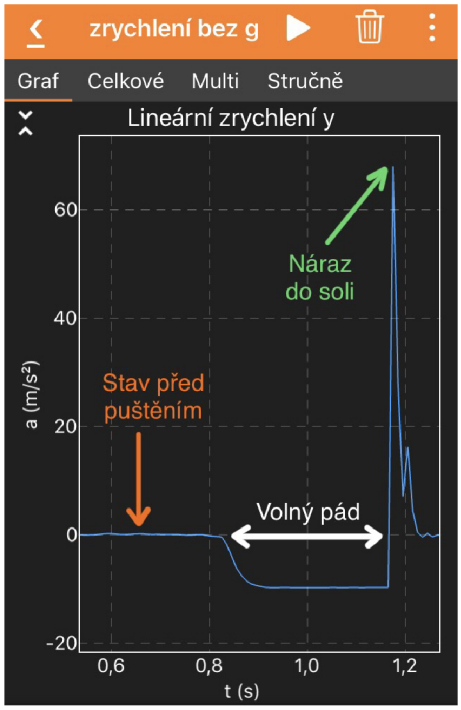
Při zobrazení závislostí dráhy a rychlosti na čase není z naměřených hodnot zřejmá funkční závislost, proto jsme křivky vyjádřili podle rovnic teoretického modelu. U grafu dráhy rovnice odpovídá kvadratické funkci a křivka je část paraboly. U grafu rychlosti rovnice odpovídá lineární funkci.

Pro ověřování nezávislosti volného pádu na hmotnosti tělesa je průměrný čas stejný pro obě hmotnosti u výšky $s_2 = 1,4\,\mathrm{m}$. U menší výšky je rozdíl $0,005\,\mathrm{s}$. U kratšího času se zřejmě více projeví nepřesnost reakce akustických stopek i počáteční fáze pohybu po překlopení závaží z posuvného měřítka. Toto měření by se dalo považovat za úspěšné a vhodné k použití při výuce buď jako demonstrace v hodině nebo při laboratorních úlohách. Na základě těchto hodnot jsme také dopočítali tíhové zrychlení, jehož hodnota nám vždy vyšla menší než teoretická. Opět by zřejmě bylo vhodné četnější měření. Pro takové ověření by nejspíše bylo vhodné měření s větší výškou h.

Další možné využití měření pomocí telefonu je ukázka velikosti tíhového zrychlení. Aplikace *phyphox* nabízí měření akcelerace buď již s tíhovým zrychlením anebo bez $\boldsymbol{g}$. Experiment můžeme provést puštěním telefonu z výšky asi 50 cm do nádoby s pískem nebo solí. Zařízení je třeba řádně ochránit před poškrábáním nebo jiným poškozením (např. obalit otvory lepisí páskou nebo folií).

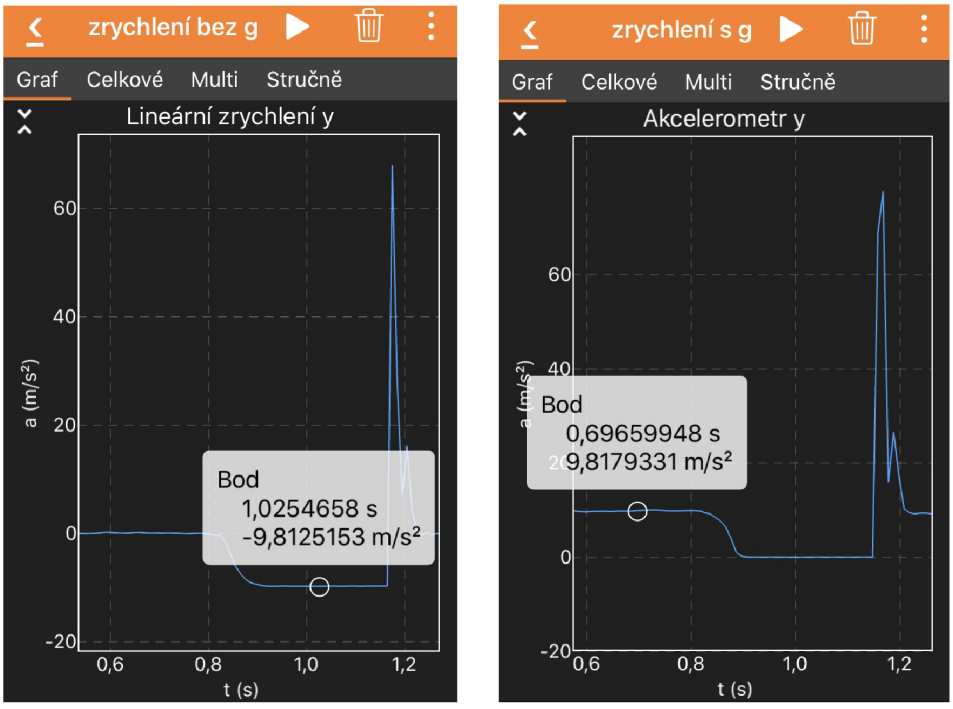
Obrázek 4.8: Pád telefonu do nádoby se solí

Telefon je nejlepší pouštět tak, aby byl co nejmenší odpor vzduchu. Tedy měřit zrychlení podle osy x nebo y.



Obrázek 4.9: Zrychlení telefonu při pádu do nádoby – ukázka měření

Pokud zvolíme funkci „akcelerace (bez g)“, pak je hodnota zrychlení při volném pádu se záporným znaménkem a má velikost $g = -9,81\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$. Telefon před puštěním je téměř v klidu a hodnota zrychlení je tedy $0\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$. Při měření s funkcí „akcelerace s g“ je hodnota zrychlení před puštěním rovna $\boldsymbol{g}$ s kladným znaménkem a při volném pádu má zrychlení nulovou velikost.



Obrázek 4.10: Měření zrychlení bez g a s g

4.2.5 Pracovní list

Laboratorní práce č.

Název: Volný pád
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Zvláštním případem přímočarého rovnoměrně zrychleného pohybu tělesa je volný pád. Pohyb probíhá ve vakuu ve svislém směru s nulovou počáteční rychlostí. Pokud bychom neuvažovali odporové síly působící proti tomuto pohybu (odpor vzduchu, vztlaková síla), můžeme uvažovat, že těleso padá volným pádem i ve vzduchu. Podle druhého Newtonova pohybového zákona pak tíhová síla uděluje tělesu tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}$, jehož vektor směřuje vždy svisle dolů. Pro dráhu a rychlost volného pádu platí vztahy

$$s = \frac{1}{2}gt^2,$$
$$v = gt,$$

kde s je dráha pohybu, t čas a v rychlost volného pádu.

Pomůcky

Stojan se svorkou, závaží, pevné pravítko, nůžky, měřicí pásmo, kovová podložka, chytrý telefon s aplikací phyphox, váhy.

Úkol č. 1: Určete závislost dráhy a rychlosti volného pádu na čase.

Postup

1. Stojan umístíme na okraj stolu a do svorky připevníme pravítko. Na podlahu přímo pod pravítko umístíme kovovou podložku.

2. Telefon položíme na stůl vedle stojanu a zapneme aplikaci *phyphox*. Zvolíme funkci akustických stopek a nastavíme vstupní parametry podle zobrazených instrukcí.

3. Položíme závaží na pravítko. V telefonu spustíme měření a nůžkami rychlým pohybem narazíme do pravítka. Na telefonu se spustí stopky a zastaví se ve chvíli, kdy závaží dopadne na podložku.

4. Měření opakujeme pětkrát pro každou výšku.

5. Z naměřených hodnot určíme průměrný čas volného pádu a následně dopočítáme dráhu a rychlost pádu. Nakonec znázorníme závislost dráhy a rychlosti volného pádu na čase.

Naměřené hodnoty a výsledky

Tabulka 4.11: Naměřený čas volného pádu

měření	t_1/s	t_2/s	t_3/s	t_4/s	t_5/s
1	0,423	0,448	0,485	0,521	0,545
2	0,421	0,452	0,485	0,520	0,542
3	0,414	0,457	0,494	0,521	0,543
4	0,415	0,456	0,487	0,515	0,556
5	0,416	0,455	0,483	0,520	0,549
$\bar{t}/\mathrm{s}$	0,418	0,454	0,487	0,519	0,547

Výpočty:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \cdots + t_n}{n} = \frac{0,423 + 0,421 + 0,414 + 0,415 + 0,416}{5}\,\mathrm{s} = 0,418\,\mathrm{s},$$

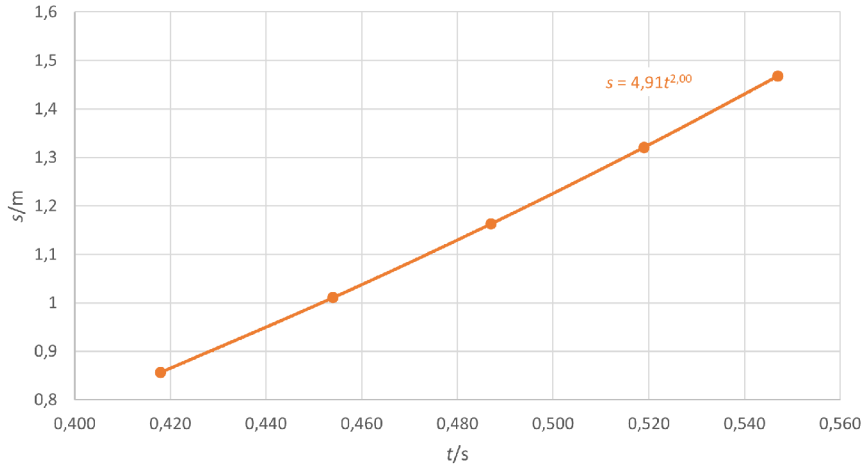
$$s = \frac{1}{2}g\bar{t}^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot 0,418^2\,\mathrm{m} = 0,857\,\mathrm{m},$$

$$v = g\bar{t} = 9,81 \cdot 0,418\,\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1} = 4,10\,\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}.$$

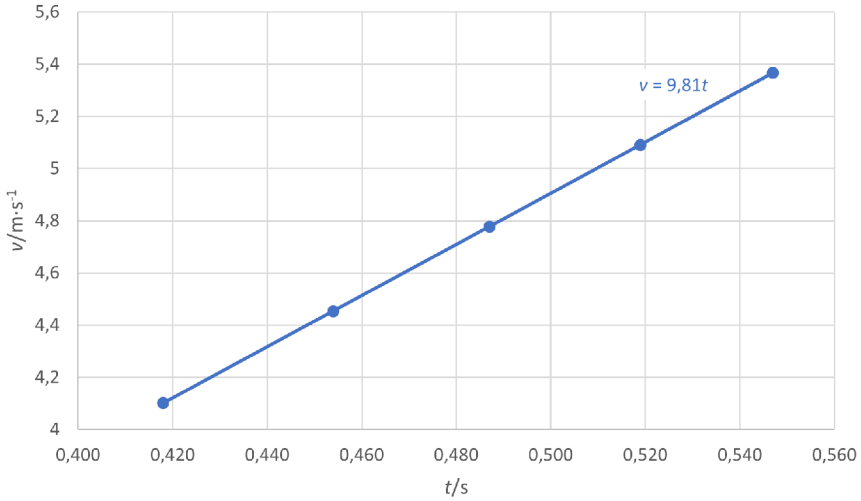
Výpočty provádíme pro všechny naměřené hodnoty.

Tabulka 4.12: Čas, dráha a rychlost volného pádu

t/s	0,418	0,454	0,487	0,519	0,547
s/m	0,857	1,01	1,16	1,32	1,47
$v/\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$	4,10	4,45	4,78	5,09	5,37



Obrázek 4.11: Závislost dráhy volného pádu na čase



Obrázek 4.12: Závislost rychlosti volného pádu na čase

Úkol č. 2: Ověřte nezávislost doby volného pádu na hmotnosti tělesa a určete hodnotu tíhového zrychlení.

Postup

1. Zvážíme si dvě různá závaží a postup měření opakujeme podle úkolu č. 1 pro dvě různé výšky, které si změříme pásmem.
2. Na základě naměřených hodnot určíme nezávislost času volného pádu na hmotnosti padajícího tělesa.
3. Pomocí vztahu pro dráhu vypočítáme hodnotu tíhového zrychlení pro obě tělesa.

Naměřené hodnoty a výsledky

Hmotnost

$m_1 = 50{,}6$ g

$m_2 = 103{,}2$ g

Tabulka 4.13: Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_1 při dráze s

	$s_1 = 0,8\,\mathrm{m}$	$s_2 = 1,4\,\mathrm{m}$
měření	t_1/s	t_2/s
1	0,423	0,545
2	0,421	0,542
3	0,414	0,543
4	0,415	0,556
5	0,416	0,549
$\bar{t}/\mathrm{s}$	0,418	0,547

Tabulka 4.14: Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_2 při dráze s

	$s_1 = 0,8\,\mathrm{m}$	$s_2 = 1,4\,\mathrm{m}$
měření	t_1/s	t_2/s
1	0,445	0,549
2	0,429	0,548
3	0,402	0,544
4	0,416	0,546
5	0,422	0,549
$\bar{t}/\mathrm{s}$	0,423	0,547

Výpočty:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \cdots + t_n}{n} = \frac{0,545 + 0,542 + 0,543 + 0,556 + 0,549}{5}\,\mathrm{s} = 0,547\,\mathrm{s},$$

$$s = \frac{1}{2} g \bar{t}^2,$$

$$g = \frac{2s}{\bar{t}^2} = \frac{2 \cdot 1,4}{0,547^2}\,\mathrm{m \cdot s^{-2}} = 9,36\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}.$$

Tabulka 4.15: Tíhové zrychlení pro m_1

s/m	0,80	1,40
$\bar{t}/\mathrm{s}$	0,42	0,55
$g/\mathrm{m \cdot s^{-2}}$	9,16	9,36

Tabulka 4.16: Tíhové zrychlení pro m_2

s/m	0,80	1,40
$\bar{t}/\mathrm{s}$	0,42	0,55
$g/\mathrm{m \cdot s^{-2}}$	8,94	9,36

Závěr

Měřili jsme dobu volně padajícího tělesa pomocí funkce akustických stopek v chytrém telefonu.

V úkolu č. 1 jsme měřili čas pro pět různých vzdáleností. Následně jsme vypočítali průměrný čas a dále pak dráhu a rychlost volného pádu pomocí příslušných vzorců uvedených v teoretické části. Na základě vypočtených hodnot jsme vytvořili závislost dráhy a rychlosti na čase. Protože z grafu dráhy na obrázku č. 1 nelze přímo určit, zda se jedná o lineární nebo kvadratickou funkci, zobrazili jsme také rovnici vykreslené křivky. Zobrazená rovnice odpovídá vztahu pro dráhu volného pádu. Můžeme tedy říci, že grafem dráhy je kvadratická funkce. Podobně tomu bylo u závislosti rychlosti na čase. Opět jsme zobrazili rovnici křivky, která nám dokazuje, že závislost je lineární. Tedy opět rovnice odpovídá vztahu pro rychlost volného pádu.

V úkolu č. 2 jsme ověřovali nezávislost rychlosti volného pádu na hmotnosti tělesa. Pomocí naměřených hodnot času jsme dopočítali rychlost dopadu dvou různě hmotných těles. Při dráze $s_1 = 0,8\,\mathrm{m}$ jsou rozdílné hodnoty o $0,005\,\mathrm{s}$. Při dráze $s_2 = 1,4\,\mathrm{m}$ se hodnoty shodují. Tedy měření s větší velikostí dráhy je přesnější než pro menší hodnoty s.

Dalším úkolem bylo dopočítat hodnotu tíhového zrychlení ze vztahu pro výpočet dráhy volného pádu. Pomocí naměřených hodnot jsme určili čtyři hodnoty tíhového zrychlení. Nejmenší odchylku od teoretické hodnoty $g = 9,81\,\mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$ má námi vypočtená hodnota $g_{m_1} = g_{m_2} = 9,36\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Relativní chyba je asi 5 %. Porovnáním hodnot v tabulkách č. 7 a 8 můžeme říci, že vypočtená hodnota g se blíží k teoretické hodnotě pro větší vzdálenosti. Pro takové ověření bychom museli provést další měření.

4.3 Rovnoměrný pohyb po kružnici

4.3.1 Teoretický úvod

Rovnoměrný pohyb po kružnici je pohyb, při kterém se těleso pohybuje kolem středu po kruhové trajektorii. Velikost (obvodové) rychlosti tohoto tělesa je konstantní, ale mění se její směr. Vektor rychlosti v daném bodě má směr tečny k trajektorii.

Těleso, které opíše při svém pohybu úhel $\Delta\alpha$ za dobu Δt se pohybuje tzv. úhlovou rychlostí ω, jejíž velikost je dána vztahem

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}. \tag{4.5}$$

Jednotka úhlové rychlosti je $\mathrm{rad \cdot s^{-1}}$. Protože pohyb po kružnici se neustále opakuje (je periodický), charakterizuje tento pohyb i perioda a frekvence. Perioda T pohybu udává dobu jedné otočky a frekvence f naopak počet otáček za jednotku času. Veličiny tak můžeme vzájemně vyjádřit jednu pomocí druhé ve tvaru

$$T = \frac{1}{f} \qquad \text{nebo} \qquad f = \frac{1}{T}. \tag{4.6}$$

Při otočce o úhel $\alpha = 2\pi$ můžeme úhlovou rychlost psát ve tvaru

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \text{nebo} \qquad \omega = 2\pi f. \tag{4.7}$$

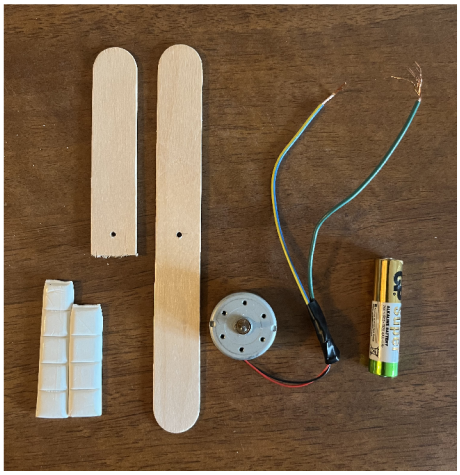
Nakonec souvislost mezi obvodovou rychlostí a rychlostí úhlovou vyjádříme rovnicí

$$v = r\omega, \tag{4.8}$$

kde r je vzdálenost středu otáčení a bodu, který se kolem středu otáčí [23].

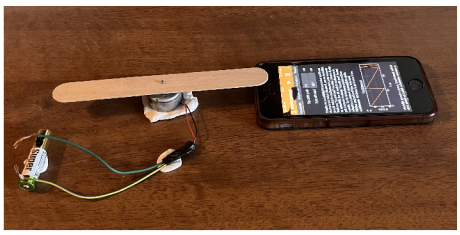
4.3.2 Popis experimentu

Pro měření veličin charakterizující pohyb po kružnici nám postačí pouze několi jednoduchých pomůcek. Aparaturu jsme sestrojili z jednoduchého stejnosměrného motorku, tužkové baterie a dřevěných špachtlí.



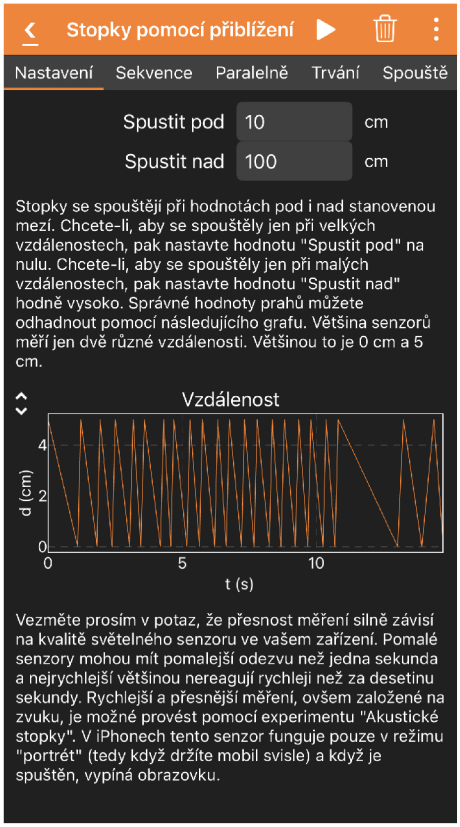
Obrázek 4.13: Pohyb po kružnici – pomůcky

Pro lepší přichycení motorku ke stolu jsme využili kancelářskou lepicí gumu. Do středu dřívek jsme udělali malý otvor pro nasazení na hřídel motoru. U jednoho ze dřívek jsme upilovali druhý konec těsně za středem (viz obrázek 4.13), abychom mohli porovnat dobu jedné otočky a půl otočky. Telefon jsme položili na stůl takovým způsobem, aby senzor přiblížení snímal konec dřevěné špachtle. Sestava k měření je na obrázku 4.14. Provedli jsme několik zkušebních měření, aby vše bylo nastavené správně [26].



Obrázek 4.14: Pohyb po kružnici – aparatura

Na telefonu v aplikaci *phyphox* jsme využili funkci „stopky pomocí přiblížení“. Zde si lze nastavit vzdálenost, při níž chceme, aby se stopky spouštěly (viz obrázek 4.15).



Obrázek 4.15: Stopky pomocí přiblížení – nastavení parametrů

4.3.3 Naměřené hodnoty a výsledky

V aplikaci se u měření se senzorem přiblížení vykresluje graf závislosti vzdálenosti na čase (viz obrázek 4.15). Každý pík, kdy je vzdálenost velmi malá, senzor snímal pohyb dřevěné špachtle. Odečteme tedy časové intervaly mezi těmito body. Vypočítáme průměrnou hodnotu a směrodatnou odchylku průměru s_T.

Tabulka 4.17: Naměřené periody otáček

	celá otočka	půl otočky
měření	T_1/s	T_2/s
1	0,233	0,100
2	0,234	0,117
3	0,233	0,117
4	0,234	0,100
5	0,233	0,117
6	0,233	0,099
7	0,232	0,117
8	0,233	0,100
9	0,233	0,117
10	0,234	0,100
$\overline{T}$/s	0,233	0,108
s_T/s	0,0001	0,003

S pomocí naměřených hodnot periody a vzdálenosti středu otáčení od konce dřívka lze

určit číselnou hodnotu frekvence, úhlové rychlosti, obvodové rychlosti i dostředivého zrychlení pomocí rovnic (4.6)–(4.8) z teoretického úvodu.

4.3.4 Zhodnocení

Při přípravě experimentu je vyžadováno provést několik zkušebních měření. Také je dobré měřit delší dobu (asi 1,5 minuty). Při měření senzor nezachytí vždy každý pohyb a na vykreslovaném grafu vidíme větší mezery mezi střídajícími se píky. Proto je lepší naměřit více hodnot a z těch poté vybrat vhodnou oblast. Může se také stát, že telefon vlivem přiblížení předmětu zhasne displej a chvíli nebude reagovat na jiná spouštěcí tlačítka. Jinými slovy bude telefon trochu zmatený. Proto je důležité zkušební měření, při kterém lze vyzkoušet i zadání vstupního nastavení.

Pro zkoumání veličin rovnoměrného pohybu po kružnici nám postačí perioda pohybu a vzdálenost tělesa od bodu otáčení. Z naměřených hodnot času jsme určili časové intervaly jedné nebo poloviční otáčky. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.17. Pokud vynásobíme periodu půl otáčky $\overline{T_2} = 0,108\,\mathrm{s}$, měli bychom přibližně získat hodnotu $\overline{T_1}$. Po vynásobení získáme hodnotu $T = 0,216\,\mathrm{s}$. S ohledem na odchylku asi 7 % lze říci, že měření bylo úspěšné a můžeme ho doporučit pro měření s žáky. Tento experiment je velmi jednoduchý a není potřeba dlouhé přípravy. Může sloužit jako laboratorní úloha nebo i jako úloha domácí.

4.3.5 Pracovní list

Laboratorní práce č.

Název: Rovnoměrný pohyb po kružnici
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Pohyb po kružnici je pohyb, se kterým se setkáváme téměř denně. Pokud, je tento pohyb rovnoměrný, pak velikost jeho rychlosti je konstantní. Těleso konající tento pohyb opisuje kružnici a otáčí se kolem jejího středu. Je to pohyb periodický. Perioda T je doba jedné otáčky. Tedy doba, za kterou těleso opíše úhel $\alpha = 2\pi$. Počet otáček, za jednotku času popisuje fyzikální veličina frekvence f. Vztah mezi periodou a frekvencí je

$$T = \frac{1}{f}.$$

Těleso, které při pohybu opíše úhel $\Delta\alpha$ za dobu Δt, má tzv. úhlovou rychlost o velikosti

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}.$$

Při opsání úhlu $\alpha = 2\pi$ můžeme pro úhlovou rychlost psát

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \text{nebo} \qquad \omega = 2\pi f.$$

Vztah mezi obvodovou a úhlovou rychlostí je dán vztahem

$$v = r\omega.$$

Pomůcky

Stejnosměrný motor 3 V, dvě dřevěné špachtle, tužková baterie 1, 5 V, kancelářská lepicí guma, pravítko, telefon s aplikací *phyphox*.

Úkol č. 1: Určete periodu, frekvenci, úhlovou i obvodovou rychlost rovnoměrného pohybu po kružnici.

Postup

1. Do středu dřevěných špachtlí uděláme otvor pro nasazení dřívka na hřídel motoru. Dbáme na velikost, otvor nesmí být příliš velký. U jedné špachtle odstraníme jeden z konců asi 1 cm za středem.

2. Motorek pomocí lepicí gumy připevníme ke stolu tak, aby nasazená špachtle byla vodorovná.

3. Na telefonu zapneme aplikaci *phyphox* a zvolíme funkci „stopky pomocí přiblížení“. Nastavíme hodnotu „spustit pod“ na 10 cm a hodnotu „spustit nad“ na 100 cm. Telefon umístíme pod konec dřívka, který bude míjet pouze horní konec telefonu.

4. Spustíme měření, připojíme motorek k baterii a ověříme, že senzor zachytává pohyb dřívka nad ním. Po zkušebním měření naměříme hodnoty pro obě dřevěné špachtle. Měříme alespoň 1,5 minuty.

5. Z naměřených hodnot určíme periodu jedné otočky a jedné půl otočky. Dále vypočítáme další veličiny charakterizující rovnoměrný pohyb po kružnici a porovnáme vypočtené výsledky.

Naměřené hodnoty a výsledky

Vzdálenost středu otáčení a konce dřevěné špachtle $r = 0, 075\,\mathrm{m}$

Tabulka 4.18: Naměřené periody otáček

	celá otočka	půl otočky
měření	T_1/s	T_2/s
1	0,233	0,100
2	0,234	0,117
3	0,233	0,117
4	0,234	0,100
5	0,233	0,117
6	0,233	0,099
7	0,232	0,117
8	0,233	0,100
9	0,233	0,117
10	0,234	0,100
$\bar{T}/\mathrm{s}$	0,233	0,108

Výpočty:

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2 + \cdots + T_n}{n} = \frac{0,233 + 0,234 + 0,233 + \cdots + 0,233 + 0,234}{10}\,\mathrm{s} = 0,233\,\mathrm{s},$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,233} = 4,29\,\mathrm{Hz},$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 27,0\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1},$$
$$v = r\omega = 0,075 \cdot 26,966\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1} = 2,02\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}.$$

Tabulka 4.19: Vypočtené veličiny

veličina	celá otočka	půl otočky
T/s	0,233	0,216
f/Hz	4,29	4,63
$\omega/\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	27,0	29,09
$v/\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	2,02	2,18

Závěr

Měřili jsme periodu pohybu po kružnici pomocí telefonu. Z naměřených hodnot jsme vypočítali frekvenci, úhlovou rychlost a obvodovou rychlost pohybu. Naměřili jsme periodu jedné otočky T_1 a periodu půl otočky T_2 při stejném nastavení experimentu. Po vynásobení periody T_2 dvěma, dostáváme hodnotu $T = 0,216\,\mathrm{s}$, která by se měla shodovat s hodnotou periody jedné otočky. Rozdíl hodnot je $0,017\,\mathrm{s}$ a relativní chyba je asi 7 %. Chyba mohla být způsobena špatným snímáním telefonem. Při měření se několikrát stalo, že telefon vynechal několik hodnot přiblížení.

Dále jsme dopočítali frekvenci, úhlovou a obvodovou rychlost pohybu. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.19.

4.4 Nakloněná rovina

4.4.1 Teoretický úvod

Tření je fyzikální jev, který vzniká při těsném kontaktu mezi dvěma tělesy. Rozlišujeme dva druhy tření – klidové a smykové. Při klidovém tření jsou tělesa vzhledem k sobě v klidu. Naopak smykové tření vzniká při posuvném pohybu mezi tělesy.

Při tření mezi tělesy působí třecí síla, která je brzdnou silou a působí proti pohybu těles (resp. změně klidového stavu). U klidového tření se tato síla nazývá klidová (statická) třecí síla a značíme $\boldsymbol{F_s}$. Velikost této síly určíme ze vztahu

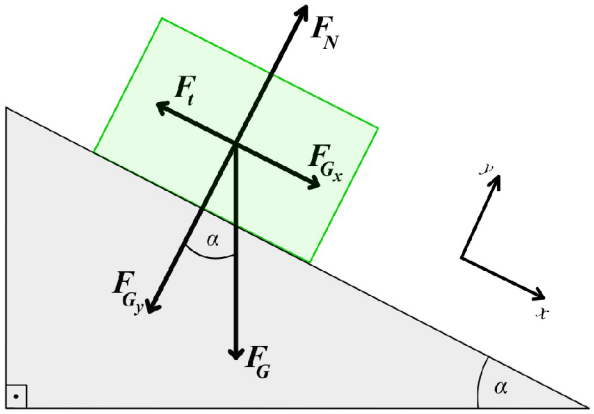
$$F_s = f_0 F_N, \tag{4.9}$$

kde f_0 je konstanta úměrnosti a F_N kolmá tlaková síla mezi tělesy. Konstanta f_0 se nazývá součinitel klidového tření a je to bezrozměrná veličina závisející zejména na jakosti styčných ploch těles. Analogicky u smykového tření působí třecí síla za pohybu $\boldsymbol{F_t}$, jejíž velikost je dána vztahem

$$F_t = f F_N, \tag{4.10}$$

kde f je součinitel smykového tření.

Při studiu pohybu tělesa po nakloněné rovině se budeme zabývat výpočtem součinitele tření. Situace nakloněné roviny je zobrazena na obrázku 4.16. Na těleso působí síla tíhová $\boldsymbol{F_G}$, kterou pomocí zvoleného souřadného systému lze rozložit na dvě kolmé složky $\boldsymbol{F_{Gx}}$ a $\boldsymbol{F_{Gy}}$, sílu normálovou a třecí.



Obrázek 4.16: Těleso na nakloněné rovině

V případě, kdy je těleso na nakloněné rovině v klidu, je výslednice všech sil působících na toto těleso rovna nule. Rovnice sil působících ve směru osy x má tvar

$$F_{G_x} - F_t = 0, \tag{4.11}$$

a ve směru y

$$F_N - F_{G_y} = 0. \tag{4.12}$$

Rovnice (4.11) a (4.12) můžeme rozepsat do tvaru

$$F_G \sin \alpha - f_0 F_N = 0 \tag{4.13}$$

$$F_N - F_G \cos \alpha = 0. \tag{4.14}$$

Z rovnice (4.14) vyjádříme F_N a dosadíme do (4.13)

$$F_G \sin \alpha = f_0 F_G \cos \alpha. \tag{4.15}$$

Následně pak pro součinitel klidového tření dostaneme vztah

$$f_0 = \tan \alpha. \tag{4.16}$$

Veličina f_0 tedy závisí na úhlu náklonu roviny. Těleso zůstává na nakloněné rovině v klidu do doby, kdy úhel α nepřesáhne mezní úhel. Tento úhel lze zjistit experimentálně.

Pokud těleso po nakloněné rovině smýká směrem dolů, pak výslednice sil je podle druhého Newtonova zákona rovna součinu hmotnosti tělesa a jeho zrychlení. Rovnice sil působících ve směru osy x bude ve tvaru

$$F_{G_x} - F_t = m a_x, \tag{4.17}$$

kde a_x je zrychlení tělesa ve směru osy x. Po vyjádření veličin a dosazení do rovnice (4.17) získáváme vztah pro součinitel smykového tření ve tvaru

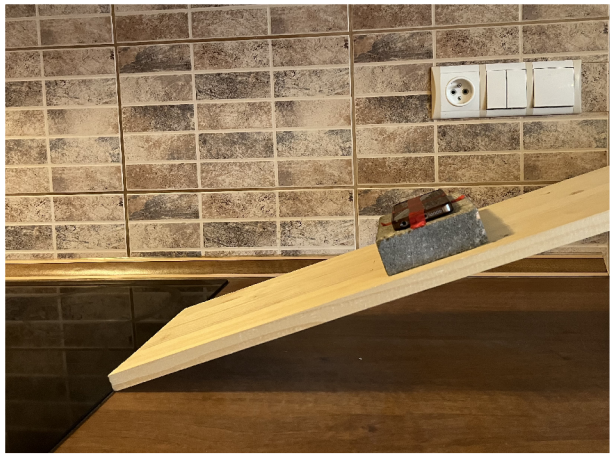
$$f = \frac{g \sin \alpha - a_x}{g \cos \alpha}, \tag{4.18}$$

kde g je tíhové zrychlení. Pro $a_x = 0$ přechází vztah (4.18) na (4.16) [27].

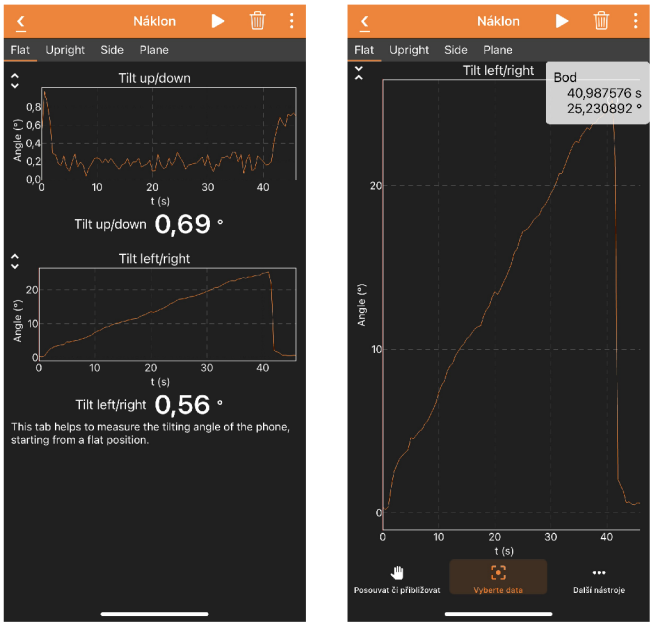
4.4.2 Popis experimentu

Při měření jsme jako nakloněnou rovinu použili dřevěnou desku (přesněji dřevěné prkno o délce 80 cm) a hranoly z několika materiálů – dřevo, beton, čisté železo, železo s barvou, laminát a nerezovou ocel.

Pro měření součinitele klidového tření nám poslouží pouze nakloněná rovina a hranoly z různých materiálů, které chceme měřit. Telefon pomocí pásky připevníme k hranolu a položíme na rovinu. Jeden konec desky upevníme nebo zarazíme v malé drážce (obrázek 4.17). V aplikaci *phyphox* zvolíme funkci „náklon“ a spustíme měření. Volný konec desky zvedáme pomalým pohybem z vodorovné polohy kolem upevněného konce. V okamžiku, kdy se hranol s telefonem dá do pohybu, desku rychlým pohybem vrátíme do vodorovné polohy. Z grafu naměřených dat se pak lépe odečte maximální hodnota úhlu. Ukázka měření je zobrazena na obrázku 4.18.

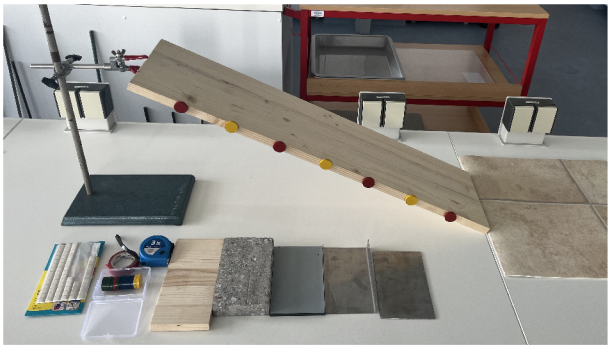


Obrázek 4.17: Klidového tření – aparatura



Obrázek 4.18: Funkce náklon – ukázka měření

Pro měření součinitele smykového tření využijeme podobný způsob jako u experimentu popsaného v sekci 4.1. Podél desky umístíme magnety v předem stanovené vzdálenosti. První magnet připevníme až několik centimetrů od horní hrany desky (viz obrázek 4.19). Tento první magnet bude odpovídat počáteční hodnotě polohy. Magnety opět umístíme tak, že se orientace magnetických pólů střídá. Desku (nakloněnou rovinu) podepřeme (popř. upevníme do stojanu) pod takovým úhlem, aby po ní hranoly klouzaly směrem dolů. Ke spodnímu okraji můžeme přiložit tenkou podložku jako ochranu stolu před možným poškozením. Měříme pomocí magnetometru v telefonu.



Obrázek 4.19: Smykové tření – aparatura

4.4.3 Naměřené hodnoty a výsledky

Při měření součinitele smykového tření jsme měřili hodnoty úhlu desetkrát pro každý materiál. Vypočítali jsme průměrnou hodnotu úhlu a také směrodatnou odchylku průměru s_α. Následně pak dopočítali součinitel klidového tření podle vztahu (4.16). Naměřená data pro součinitele klidového i smykového tření a následné výpočty jsou v elektronické pžíloze.

Tabulka 4.20: Úhly náklonu desky a součinitel klidového tření pro různé materiály

materiál	dřevo	beton	čisté železo	železo s barvou	laminát	nerez. ocel
měření	$\alpha_1/^\circ$	$\alpha_2/^\circ$	$\alpha_3/^\circ$	$\alpha_4/^\circ$	$\alpha_5/^\circ$	$\alpha_6/^\circ$
1	24,95	23,58	12,74	26,78	16,88	15,53
2	25,05	23,21	12,36	26,68	17,21	15,60
3	25,26	23,35	12,57	26,43	16,58	15,74
4	24,72	23,38	12,35	26,29	16,62	15,27
5	25,13	23,19	12,07	26,64	16,60	15,59
6	24,80	23,46	12,25	26,07	16,68	15,70
7	24,76	23,67	12,48	26,69	17,25	15,35
8	25,02	23,55	12,53	26,08	16,70	15,63
9	25,18	23,70	12,20	26,35	17,05	15,48
10	24,97	23,48	12,34	26,57	16,79	15,59
$\bar{\alpha}/^\circ$	24,98	23,46	12,39	26,46	16,84	15,56
$s_\alpha/^\circ$	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,05
f_0	0,47	0,43	0,22	0,50	0,30	0,28

Při měření součinitele smykového tření jsme měřili čas rovnoměrně zrychleného pohybu tělesa pohybujícího se po nakloněné rovině. Úhel náklonu pro dřevo a beton jsme stanovili na 29° a pro železa, laminát a ocel na 23°. Při takových hodnotách hranoly s telefonem klouzaly ihned po položení na nakloněnou rovinu. Vzdálenost mezi magnety připevněnými podél desky je vždy 10 cm. Tedy dráha s pro každý materiál má stejnou hodnotu (viz tabulka 4.21).

Naměřená data jsme zpracovali v programu MS Excel. Na obrázku 4.20 je zobrazena závislost dráhy rovnoměrně zrychleného pohybu na čase pro všechny materiály. Zobrazili jsme závislosti na dvou obrázcích, protože se jednotlivé křivky překrývaly. Pro každý materiál je také zobrazena rovnice této závislosti. Z grafů můžeme vidět, že jde o kvadratický průběh. Můžeme tedy porovnat koeficienty kvadratického člene

s koeficienty z rovnice dráhy rovonoměrně zrychleného pohybu, jehož měření začalo s časovým zpožděním, která má tvar

$$s = \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 + s_0. \tag{4.19}$$

Tedy zrychlení hranolu s telefonem pro dřevo určíme následovně:

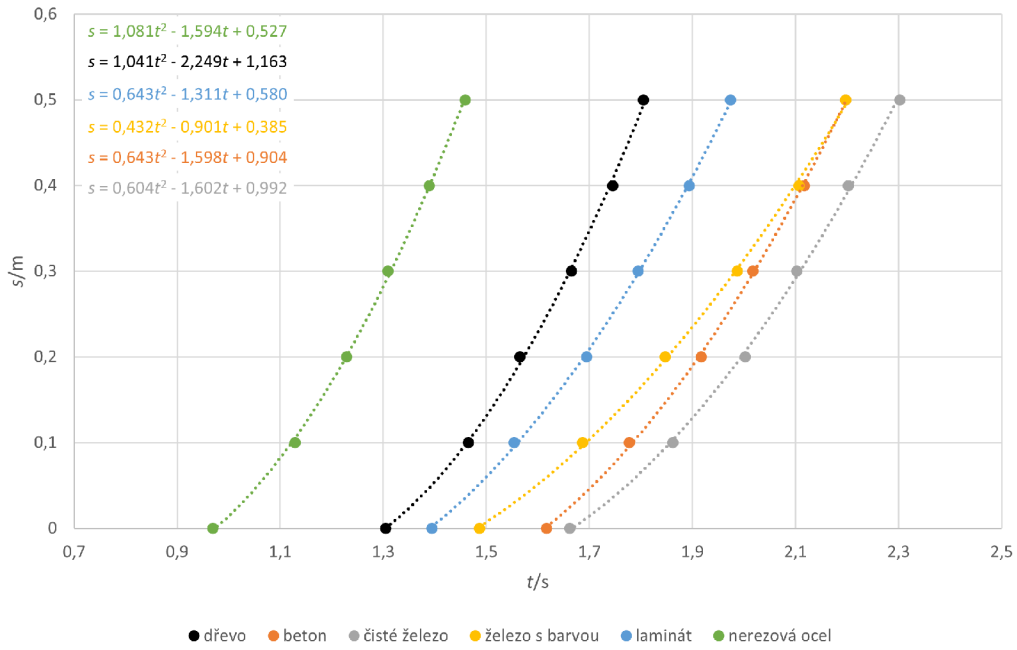
$$\frac{1}{2}a = 1,041,$$

$$a = 2,082\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}.$$

Nakonec dle vztahu (4.18) dopočítáme součinitel smykového tření. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.22.

Tabulka 4.21: Naměřený čas na nakloněné rovině pro různé materiály

materiál	dřevo	beton	čisté železo	železo s barvou	laminát	nerez. ocel
s/m	t_1/s	t_2/s	t_3/s	t_4/s	t_5/s	t_6/s
0,0	1,305	1,617	1,662	1,487	1,394	0,969
0,1	1,465	1,777	1,862	1,687	1,554	1,129
0,2	1,565	1,917	2,002	1,847	1,694	1,229
0,3	1,665	2,017	2,102	1,987	1,794	1,309
0,4	1,745	2,117	2,202	2,107	1,894	1,389
0,5	1,805	2,197	2,302	2,197	1,974	1,459



Obrázek 4.20: Rovnoměrně zrychlen pohyb těles po nakloněné rovině

Deska, po které tělesa klouzala, byla ze dřeva. Tedy vždy řešíme součinitel smykového tření mezi dřevem a jiným materiálem.

Tabulka 4.22: Součinitel smykového tření

materiál	dřevo	beton	čisté železo	železo s barvou	laminát	nerez. ocel
$\alpha/^\circ$	29	29	23	23	23	23
$a_x/\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$	2,082	1,286	1,208	0,864	1,286	2,162
f	0,312	0,404	0,291	0,329	0,282	0,185

4.4.4 Zhodnocení

Tabulková hodnota součinitele klidového tření pro dřevo je 0,25–0,50 a beton 0,62. Dále se v tabulkách uvádí součinitel tření mezi kovy a dřevem v rozmezí 0,20–0,60. Hodnoty pro železo nebo nerezovou ocel jsme nedohledali, stejně jako pro laminát [28].

Vzhledem k velkému rozmezí tabulkových hodnot pro kovy jsou námi určené hodnoty v tomto intervalu. Největší odchylka je u betonu. Může být způsobena nerovností povrchu. Pro přesnější měření u všech materiálů bychom zvolili větší počet měření.

Tabulková hodnota součinitele smykového tření pro dřevo a kovy je 0,3. Pro beton a laminát jsme hodnoty nedohledali [29]. U těchto materiálů je největší odchylka u železa s barvou. Přesně 0,029 od tabulkové hodnoty, tj. s relativní chybou 10 %. Můžeme také porovnat vliv barvy na vlastnosti povrchů. Jak u f_0 i f je hodnota součinitele vyšší u železa s barvou. Můžeme tedy tvrdit, že nátěr na železe zvyšuje tření.

Toto měření považujeme za úspěšné a tento způsob měření může být použit jako zpestření výuky a nebo jako jiná forma měření třecí síly nebo součinitele smykového tření. Problém by však mohl nastat při zpracovávání dat. My jsme využili programu MS Excel, se kterým však žáci mnohdy neumí pracoval. Pedagogové tedy musí žáky naučit pracovat s vyhodnocením dat pomocí počítače nebo tabletu, nebo navrhnout jiné vyhodnocení naměřených dat.

Při měření náklonu desky pro součinitele smykového tření pomocí vodováhy v telefonu musíme dbát na rovnoběžnou polohu s horní plochou použitých hranolů. Problém by mohl nastat u novějších modelů telefonů, které mají často vystouplé fotoaparáty. Tento problém může být vyřešen použitím ochranného obalu telefonu, který tento rozdíl výšek srovná.

Pomocí stejné aparatury nebo vozíčkové dráhy lze měřit i rovnoměrně zrychlený pohyb. Po nakloněné rovině se může pohybovat vozík s připevněným telefonem, který snímá magnetické pole, nebo urychlovat vozík na vzduchové vozíčkové dráze pomocí přívažku na niti vedené přes kladku k vozíku. Opět na základě naměřených hodnot lze sestrojit graf závislosti dráhy na čase a z rovnice této závislosti určit zrychlení vozíku. Další úlohou by mohlo být dynamické měření hmotnosti (např. telefonu připevněného na vozíku).

4.4.5 Pracovní list

Laboratorní práce č.

Název: Nakloněná rovina
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:

Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Tření je fyzikální jev, který vzniká při těsném kontaktu mezi dvěma tělesy. Rozlišujeme tření klidové a smykové. Při klidovém tření jsou tělesa vzhledem k sobě v klidu. U smykového tření se jedno těleso pohybuje po druhém.

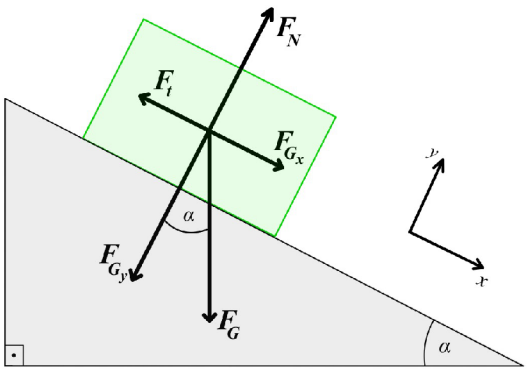
Při tření mezi tělesy působí třecí síla, která je brzdnou silou a působí proti pohybu těles (resp. změně klidového stavu). U klidového tření se tato síla nazývá klidová (statická) třecí síla a značíme ji $\boldsymbol{F_s}$. Velikost této síly určíme ze vztahu

$$F_s = f_0 F_N,$$

kde f_0 je konstanta úměrnosti a F_N kolmá tlaková síla mezi tělesy. Konstanta f_0 se nazývá součinitel klidového tření a je to bezrozměrná veličina závisející zejména na jakosti styčných ploch těles. Analogicky u smykového tření působí třecí síla za pohybu $\boldsymbol{F_t}$, jejíž velikost je dána vztahem

$$F_t = f F_N,$$

kde f je součinitel smykového tření.



Výpočet součinitele tření tělesa na nakloněné rovině závisí také na úhlu náklonu roviny. V případě, kdy je těleso na nakloněné rovině v klidu, pro součinitele klidového tření platí vztah

$$f_0 = \tan \alpha,$$

kde α je úhel náklonu roviny. Pokud těleso po nakloněné rovině smýká směrem dolů, pak výslednice sil je podle druhého Newtonova zákona rovna součinu hmotnosti tělesa a jeho zrychlení. Pro součinitele smykového tření pak platí vztah

$$f = \frac{g \sin \alpha - a_x}{g \cos \alpha},$$

kde g je tíhové zrychlení a a_x zrychlení tělesa ve směru pohybu (ve směru osy x).

Pomůcky

Deska (nakloněná rovina), hranoly z různých materiálů (např. dřevo, kov, sklo, tkanina, ...), telefon s aplikací phyphox, lepicí páska, magnety, kancelářská lepicí guma, měřicí pásmo.

Úkol č. 1: Určete součinitel klidového tření

Postup

1. Telefon připevníme pomocí pásky k hranolu. Spodní strana hranolu musí být čistá.

2. Hranol se smartphonem položíme na desku. Zapneme aplikaci phyphox a zvolíme funkci náklon. Po spuštění měření začneme desku pomalu naklánět. V okamžiku, kdy se dá hranol s telefonem do pohybu, desku vrátíme do vodorovné polohy. Z grafu naměřených hodnot tak lépe určíme hodnotu úhlu.

3. Měření opakujeme pro každý materiál alespoň desetkrát. Z naměřených hodnot úhlů určíme průměrnou hodnotu a vypočítáme součinitel klidového tření. Výsledky porovnáme s hodnotami z MFCH tabulek.

Naměřené hodnoty a výsledky

Materiál nakloněné roviny: dřevo

Tabulka 4.23: Úhly náklonu desky a součinitel klidového tření pro různé materiály

materiál	dřevo	beton	kov
měření	$\alpha_1/^\circ$	$\alpha_2/^\circ$	$\alpha_3/^\circ$
1	24,95	23,58	12,74
2	25,05	23,21	12,36
3	25,26	23,35	12,57
4	24,72	23,38	12,35
5	25,13	23,19	12,07
6	24,80	23,46	12,25
7	24,76	23,67	12,48
8	25,02	23,55	12,53
9	25,18	23,70	12,20
10	24,97	23,48	12,34
$\bar{\alpha}/^\circ$	24,98	23,46	12,39
f_0	0,47	0,43	0,22

Výpočty:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \cdots + \alpha_n}{n} = \frac{24,95 + 25,05 + 25,26 + \cdots + 24,97}{10} = 24.98^\circ,$$

$$f_0 = \tan(24.98^\circ) = 0,47.$$

Výpočty provádíme pro všechny naměřené hodnoty.

Úkol č. 2: Určete součinitel smykového tření

Postup

1. Desku nakloníme pod takovým úhlem, aby po ní hranol z příslušného materiálu klouzal. Můžeme vycházet z naměřených hodnot v úkolu 1.

2. Na hranu desky připevníme pomocí lepicí gumy magnety vždy po 10 centimetrech. První magnet umístíme asi 10 cm pod horní okraj desky. Orientaci pólů magnetu volíme vždy opačnou, než u předchozího magnetu.

3. Telefon připevníme pomocí pásky k hranolu. Spodní strana hranolu musí být čistá.

4. Zapneme aplikaci phyphox a zvolíme funkci magnetometr. Spustíme měření a hranol s telefonem položíme k hornímu okraji nakloněné roviny tak, aby byl horní okraj telefonu nejblíže magnetům.

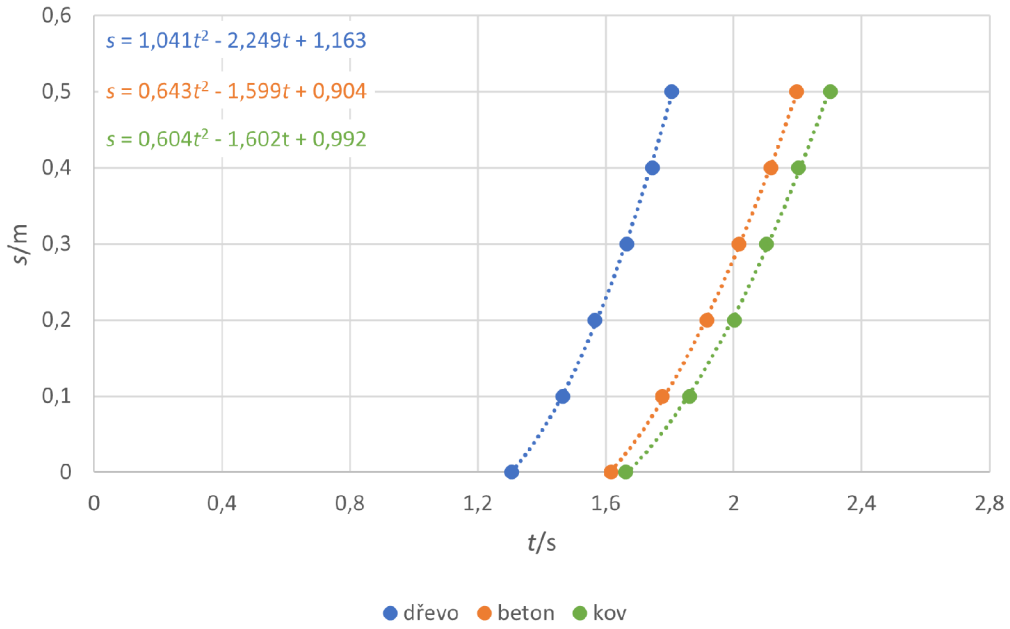
5. Po skončení pohybu stopneme měření v aplikaci a naměřená data si pojmenujeme a uložíme pro další možné zpracování dat. Měření provedeme pro každý materiál.

6. Z grafu naměřených hodnot odečteme čas, kdy telefon míjel jednotlivé magnety ve směru osy x. Sestrojíme závislost dráhy na čase rovnoměrně zrychleného pohybu a určíme zrychlení klouzajícího tělesa. Nakonec vypočítáme součinitel smykového tření. Výsledky porovnáme s hodnotami z MFCH tabulek.

Naměřené hodnoty a výsledky

Tabulka 4.24: Naměřený čas na nakloněné rovině pro různé materiály

materiál	dřevo	beton	kov
s/m	t_1/s	t_2/s	t_3/s
0,0	1,305	1,617	1,662
0,1	1,465	1,777	1,862
0,2	1,565	1,917	2,002
0,3	1,665	2,017	2,102
0,4	1,745	2,117	2,202
0,5	1,805	2,197	2,302



Obrázek 4.21: Závislost dráhy na čase rovnoměrně zrychleného pohybu

Tabulka 4.25: Součinitel smykového tření

materiál	dřevo	beton	kov
$\alpha/°$	29	29	23
$a_x/\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$	2,082	1,286	1,208
f	0,312	0,404	0,291

Výpočty:

dráha rovnoměrně zrychleného pohybu: $s = \frac{1}{2}a(t-t_0)^2 + s_0$

porovnáme koeficienty kvadratických členů rovnice dráhy s rovnicí z obrázku 4.21:
$\frac{1}{2}a = 1,041,$

$a = 2,082\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2},$

$$f = \frac{g\sin\alpha - a_x}{g\cos\alpha} = \frac{9,81\cdot\sin 29° - 2,082}{9,81\cdot\cos 29°} = 0,312.$$

Výpočty provádíme pro všechny materiály.

Závěr

Měřili jsme velikost součinitele klidového a smykového tření pro tři různé materiály – dřevo, beton a kov, které klouzaly po dřevěné nakloněné rovině. Tabulkové a vypočtené hodnoty jsme shrnuli do následující tabulky pro lepší přehlednost.

Tabulka 4.26: Součinitel klidového tření

materiál	dřevo–dřevo	dřevo–beton	dřevo–kov
tabulková hodnota	0,50	0,62	0,50
vypočtená hodnota	0,47	0,43	0,28

Největší odchylka měření se vyskytla u betonu. Chyba měření mohla být způsobena rychlým pohybem desky při měření a určení tak špatného úhlu náklonu roviny. Také závisí na vyhlazení styčné plochy hranolu.

Při zpracovávání dat pro výpočet součinitele smykového tření jsme využili program MS Excel, ve kterém jsme vykreslili závislost dráhy na čase rovnoměrně zrychleného pohybu a zobrazili rovnici této závislosti. Pomocí koeficientů rovnic jsme získali hodnotu pro zrychlení tělesa. Vypočtené a teoretické hodnoty opět uvedeme v tabulce.

Tabulka 4.27: Součinitel smykového tření

materiál	dřevo–dřevo	dřevo–beton	dřevo–kov
tabulková hodnota	0,300	–	0,300
vypočtená hodnota	0,312	0,404	0,185

Zde je největší odchylka hodnot u kovu. Ta mohla být způsobena špatným nastavením náklonu desky nebo nečistotami na povrchu hranolu a nakloněné roviny.

Tabulkovou hodnotu součinitele smykového tření pro beton na dřevě jsme nenašli v žádných tabulkách, nelze tedy porovnat s námi vypočtenou. Pouze můžeme říci, že hodnota součinitele v pohybu je menší, než součinitele klidového tření. To potvrzuje fakt, že velikost klidové třecí síly je větší než třecí síly za pohybu (tabulka 4.28).

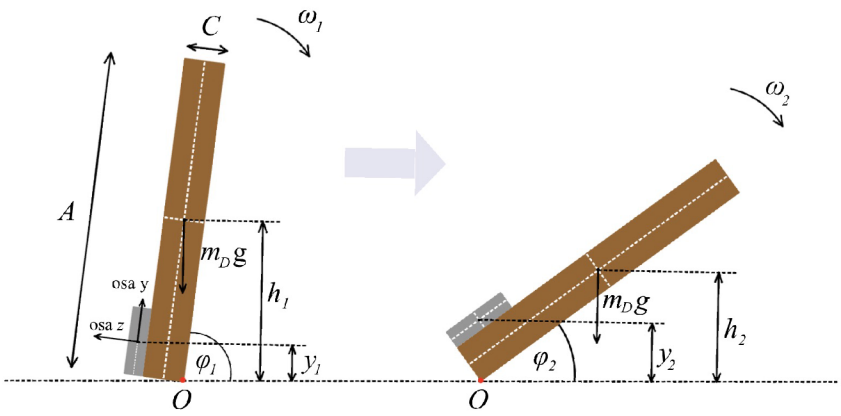
Tabulka 4.28: Vypočtené hodnoty součinitele tření f_0 a f

materiál	dřevo–dřevo	dřevo–beton	dřevo–kov
f_0	0,47	0,43	0,28
f	0,312	0,404	0,185

4.5 Energie rotující desky

4.5.1 Teoretický úvod

Uvažujme situaci, kdy mobilní telefon o hmotnosti m_T je připevněný k okraji desky o hmotnosti m_D, která se otáčí kolem jedné hrany proti směru hodinových ručiček (viz obrázek 4.22). V první pozici má soustava energii E_1, ve druhé pozici je celková energie E_2.



Obrázek 4.22: Rotace desky s telefonem

Pro zákon zachování mechanické energie můžeme psát

$$E_1 = E_2. \tag{4.20}$$

Při značení potenciální energie U a kinetické energie K můžeme napsat

$$U_1 + K_1 = U_2 + K_2. \tag{4.21}$$

Protože soustava se skládá z desky a mobilního telefonu, rovnici přepíšeme do tvaru

$$m_T g y_1 + m_D g h_1 + \frac{1}{2} J_T \omega_1^2 + \frac{1}{2} J_D \omega_1^2 = m_T g y_2 + m_D g h_2 + \frac{1}{2} J_T \omega_2^2 + \frac{1}{2} J_D \omega_2^2, \tag{4.22}$$

kde y_i je výška těžiště telefonu, h_i výška těžiště desky a J moment setrvačnosti obou těles. Deska se otáčí kolem bodu O, moment setrvačnosti desky s rozměry $(A \times B \times C)$, po řadě délka, šířka, tloušťka, je podle [30] dán vztahem

$$J_D = \frac{1}{3} m_D (A^2 + C^2). \tag{4.23}$$

Protože hmotnost a rozměry telefonu jsou vzhledem k vlastnostem desky zanedbatelné a je umístěn blízko osy otáčení, pak z výpočtu pro energii zanedbáme kinetickou a potenciální energii smartphonu. Na počátku je $\omega_1 = 0\,\mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-1}$, tedy K_1 je také rovna nule. Po dosazení vztahu (4.23) do rovnice (4.22) dostáváme

$$m_D g h_1 = m_D g h_2 + \frac{1}{6} m_D \omega_2^2 (A^2 + C^2). \tag{4.24}$$

Výška těžiště desky je dána rovnicemi

$$h_1 = \frac{A}{2} \sin \varphi_1 + \frac{C}{2} \cos \varphi_1, \tag{4.25}$$

$$h_2 = \frac{A}{2} \sin \varphi_2 + \frac{C}{2} \cos \varphi_2. \tag{4.26}$$

Rovnice pro zákon zachování energie má tvar [30]

$$\frac{1}{2} m_D g (A \sin \varphi_1 + C \cos \varphi_1) = \frac{1}{2} m_D g (A \sin \varphi_2 + C \cos \varphi_2) + \frac{1}{6} m_D \omega_2^2 (A^2 + C^2). \tag{4.27}$$

4.5.2 Popis experimentu

Telefon jsme pomocí lepicí pásky připevnili do středu k dolnímu okraji desky. V aplikaci *phyphox* jsme zvolili funkci „gyroskop“. Desku jsme vertikálně postavili a hranu, kolem které se deska otáčela, jsme zasunuli do žlábku mezi stoly v laboratoři. Tím jsme zajistili, aby se deska při pohybu neposouvala po stole. Zároveň jsme položili tenkou podložku na stůl, abychom jej ochránili před možným poškozením. Ve stejném okamžiku jsme spustili měření a pustili desku. Po dopadu jsme měření ukončili a data exportovali do počítače [30].

4.5.3 Naměřené hodnoty a výsledky

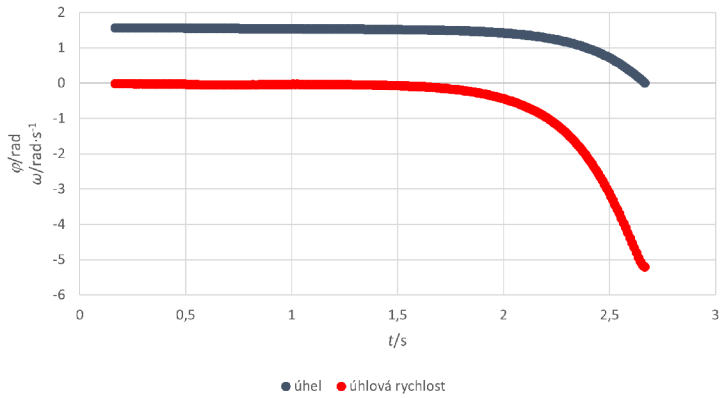
Tabulka 4.29: Vlastnosti desky

deska	
A/m	0,800
B/m	0,200
C/m	0,018
m_D/kg	1,210

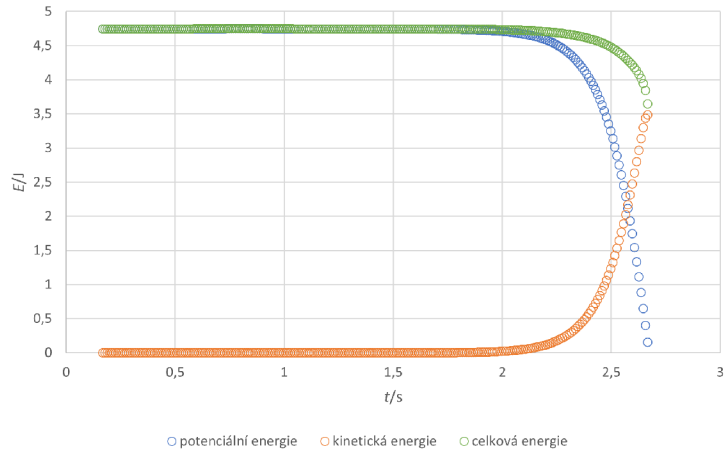
Telefon jsme připevnili k desce ve vertikální poloze; deska se otáčela kolem osy x. Počítali jsme tedy pouze s naměřenou úhlovou rychlostí ve směru osy x. Vzhledem k velkému množství dat (viz příloha B) uvádíme pouze závislost velikosti úhlu, úhlové rychlosti a energií na čase.

Deska mění polohu z vertikální do horizontální a otočí se o úhel téměř 90°. Na konci pohybu má deska největší úhlovou rychlost $\omega_2 = -5,20\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Záporné znaménko značí směr otáčení ve směru hodinových ručiček.

Obrázek 4.24 zachycuje změny potenciální a kinetické energie a také celkovou energii desky při otáčení. Vidíme, že během pohybu hodnota potenciální energie klesá a kinetická energie roste. Také můžeme vidět větší změnu potenciální energie vzhledem ke změně kinetické energie v úplném závěru pohybu desky. To mohlo být způsobeno odporem prostředí a deska nedosáhla tak velké rychlosti. Proto křivka celkové energie na konci pohybu klesá. Ze zákona zachování mechanické energie by měl být součet těchto dílčích energií stejný. Na počátku má deska energii $E_1 = 4,75\,\mathrm{J}$. Velikost celkové energie na konci pohybu desky je $E_2 = 3,65\,\mathrm{J}$.



Obrázek 4.23: Závislost úhlové rychlosti a úhlu na čase



Obrázek 4.24: Energie desky při rotaci

Výpočet úhlu jsme dopočítali numerickou integrací Eulerovou metodou z naměřených hodnot úhlové rychlosti v Excelu. Vypočtená data jsou v elektronické příloze.

4.5.4 Zhodnocení

Tento experiment lze využít při demonstraci zákona zachování mechanické energie nebo při popisu rotačního pohybu tuhého tělesa. Pokus není náročný na přípravu a realizaci. Problém by mohl nastat při zpracovávání většího množství získaných dat. Je tedy potřeba znalosti práce s některým tabulkovým programem.

Z naměřených dat jsme určili hodnotu největší rychlosti a dopočítali hodnoty energií desky. Sestrojili jsme závislost energie desky na čase. Obrázek dobře demonstruje změny potenciální a kinetické energie a jejich součet. Ověřili jsme zákon zachování mechanické energie při pohybu. Velikost celkové energie desky na počátku je $E_1 = 4,75\,\mathrm{J}$ a na konci pohybu $E_2 = 3,65\,\mathrm{J}$. Odchylka může být způsobena zanedbáním hmotnosti, rozměrů, potenciální a kinetické energie telefonu připevněného k desce.

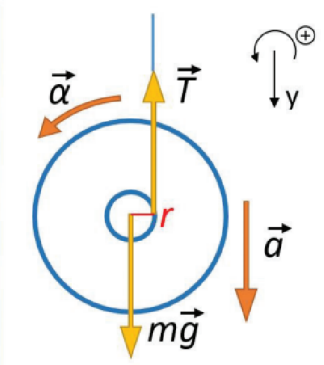
4.6 Dynamika joja

4.6.1 Teoretický úvod

Uvažujme jojo o hmotnosti m s nehmotným a neroztažným navinutým závěsem. Těleso se pohybuje vertikálně nahoru a dolů. Na jojo působí tíhová síla mg a tažná síla T závěsu. Pro druhý Newtonův pohybový zákon můžeme psát

$$mg - T = ma_y, \tag{4.28}$$

kde a_y je zrychlení těžiště joja ve směru osy y.



Obrázek 4.25: Síly působící na jojo ve směru osy y, převzato z [31]

Tažná síla závěsu působí vzhůru ve vzdálenosti r od těžiště. Vzálenost r je poloměr vnitřního válce, na kterém je navinutý závěs.

Vezmeme v úvahu otočení proti směru hodinových ručiček s kladným znaménkem. Druhý pohybový zákon rotujícího tělesa můžeme vyjádřit rovnicí

$$J\alpha = \pm Tr, \tag{4.29}$$

kde J je moment setrvačnosti a α úhlové zrychlení, které udává změnu úhlové rychlosti v čase. Moment setrvačnosti kruhové desky vzhledem k ose otáčení jdoucí těžištěm je dán vztahem

$$J_D = \frac{1}{2} m_D R^2, \tag{4.30}$$

kde R je poloměr kruhové desky a m_D její hmotnost. Otvor ve středu desky joja zanedbáváme. Moment setrvačnosti telefonu vzhledem k ose otáčení jdoucí těžištěm, který má rozměry $(a \times b \times c)$, po řadě délka, šířka, houbka, je dán vztahem

$$J_T = \frac{1}{12} m_T (b^2 + c^2), \tag{4.31}$$

kde m_T je hmotnost telefonu.

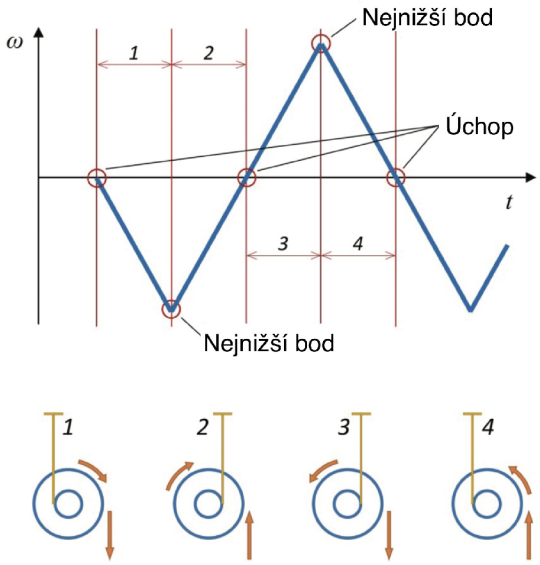
Znaménko v rovnici (4.29) značí směr otáčení joja. Pro zrychlení ve směru osy y při odvalování bez prokluzování platí

$$a_y = \alpha r. \tag{4.32}$$

Úhlové zrychlení vyjádříme pomocí rovnic (4.28)–(4.32) ve tvaru

$$\alpha = \pm \frac{g}{r} \frac{1}{1 + \dfrac{J_D + J_T}{(m_D + m_T) r^2}}. \tag{4.33}$$

Rovnice popisuje zrychlení joja v okamžiku, kdy se pohybuje směrem nahoru nebo dolů.



Obrázek 4.26: Úhlová rychlost při pohybu joja, převzato z [31]

Na obrázku vidíme časový průběh úhlové rychlosti při pohybu joja.

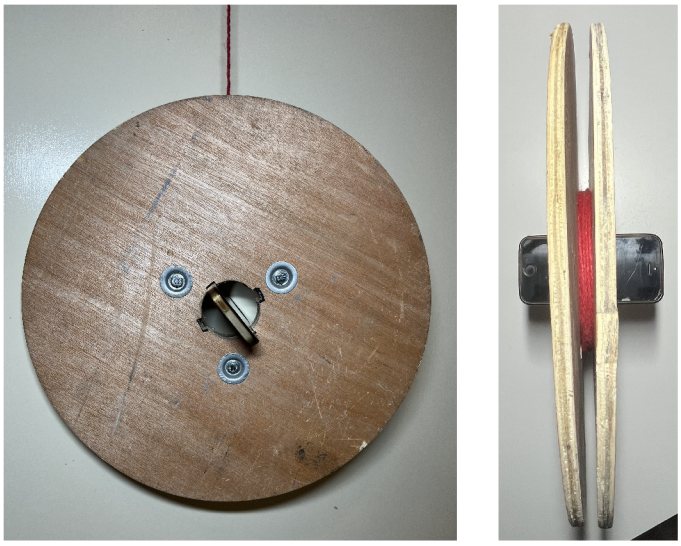
- úsek 1 – jojo se spouští od úchopu dolů; otáčí se v záporném směru,
- úsek 2 – jojo se pohybuje směrem vzhůru až k úchopu; otáčí se v záporném směru,
- úsek 3 – jojo se opět spouští dolů; otáčí se v kladném směru,
- úsek 4 – jojo se opět pohybuje vzhůru; otáčí se v kladném směru.

Body, kdy je úhlová rychlost rovna nule značí zastavení joja v horní poloze u úchopu. Je to také místo, kde se mění směr rotace [31].

4.6.2 Popis experimentu

Pro měření úhlové rychlosti jsme sestavili vlastní jojo, do jehož středu vložíme telefon. Jojo jsme vyrobili z dřevěné cívky, která sloužila pro návin kabelů. Uřízli jsme oba konce cívky a připevnili je k sobě pomocí tří šroubů. Do středu jsme vyřízli malé drážky, do kterých lze vsunout telefon i s ochranným pouzdrem. Nakonec jsme ke středovému válci pevně uvázali provázek s řádným návinem.

Obrázek 4.27: Sestavené jojo



Obrázek 4.28: Jojo – detail

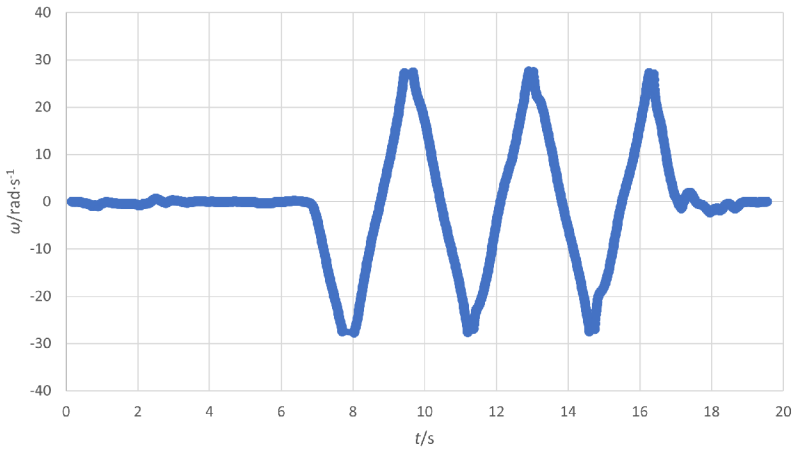
Úhlovou rychlost jsme měřili v aplikaci *phyphox* pomocí gyroskopu. Telefon se otáček kolem osy y, proto jsme dále pracovali s daty úhlové rychlosti ve směru osy y.

4.6.3 Naměřené hodnoty a výsledky

Tabulka 4.30: Parametry joja a telefonu

jojo		telefon	
m_D/kg	1,180	m_T/kg	0,137
R/m	0,190	a/m	0,127
r/m	0,070	b/m	0,062
h/m	1,350	c/m	0,010

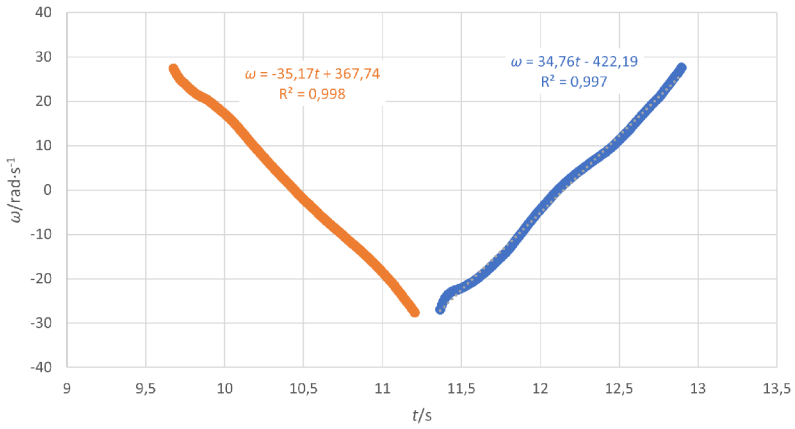
Vzhleden k velkému množství naměřených dat, uvádíme pouze závislost úhlové rychlosti na čase.



Obrázek 4.29: Časový průběh úhlové rychlosti joja ve směru osy y

Na grafu úhlové rychlosti můžeme vidět zploštělé píky průběhu. Odpovídají tomu, že v dolní poloze se po krátký čas úlová rychlost nezvětšuje, kotouč se jen převalí na druhou stranu provázku a pak se po ní navinuje vzhůru. Při větší rychlosti je pravděpodobnější zhoupnutí spodní části provázku upevněné k joju. Úhlová rychlost má v těchto místech největší velikost přibližně $27,3\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Tato hodnota závisí na použitém smartphonu. Postupně tyto plošky vymizí.

Protože úhlové zrychlení je téměř rovnoměrné, můžeme ho určit z časového průběhu úhlové rychlosti pomocí lineární regrese dvou úseků, kdy úhlová rychlost roste a klesá. Vybereme tedy dvě části na obrázku 4.29 a zobrazíme jejich rovnice. Naměřená data a lineární regrese přímek jsou v elektornické příloze.



Obrázek 4.30: Lineární regrese úhlové rychlosti joja

Lineární spojnice trendu je ve tvaru

$$\omega = \alpha t + \omega_0. \tag{4.34}$$

Rostoucí přímka má velikost zrychlení $34,76\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$, klesající pak má hodnotu $-35,17\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Odchylka velikostí hodnot je $1,12\,\%$.

Hodnotu úhlového zrychlení vypočítáme podle rovnice (4.33). Hmotnost telefonu je zanedbatelná vzhledem ke hmotnosti joja. Vypočtená hodnota je $\alpha = \pm 29,47\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-2}$.

Odchylka od hodnot zrychlení určených lineární regresí je přibližně $16,21\,\%$. Použitý teoretický model je tedy pouze přibližným popisem skutečného pohybu.

4.6.4 Zhodnocení

Experiment je vhodný nejen pro měření ve škole nebo laboratoři, ale i pro experimentování v domácím prostředí. Měl by být inspirací a motivací k pokusům s věcmi, které můžeme mít doma. Pokusy se starými hračkami mohou být velmi zajímavé a jednoduchým měřením lze ověřovat různé zákonitosti nebo demonstrovat fyzikální jevy.

Při měření jsme museli dávat pozor, aby jsme nepoužívali opotřebovaný závěs. Jojo je docela těžké a nechtěné přetržení provázku by mohlo poškodit telefon, podlahu i jojo.

Naměřená data je opět vhodné zpracovat v některém z tabulkových programů. Velké množství dat jsme vykreslili do grafu závislosti úhlové rychlosti na čase, na kterém jsou vidět místa, kdy jojo bylo v horní nebo dolní poloze, nebo kdy změnilo směr otáčení. Z detailu grafu jsme určili pomocí lineární regrese úhlové zrychlení. Tato hodnota se lišila s hodnotou vypočtenou podle rovnice (4.33) o asi $16,21\,\%$. Chyba může být způsobena nerovnoměrným rozložením váhy při pohybu nebo pružností provázku. Dalším zdrojem nepřesností může být skutečnost, že provázek je v horní poloze navinut v několika vrstvách a rameno síly T je pak větší než r; větší moment síly by pak vedl i k většímu úhlovému zrychlení.

Pokud bychom chtěli ověřit zákon zachování mechanické energie, nesmíme zapomenout, že se jedná o pohyb rotační i posuvný. Kinetická energie by tedy byla dána vztahem

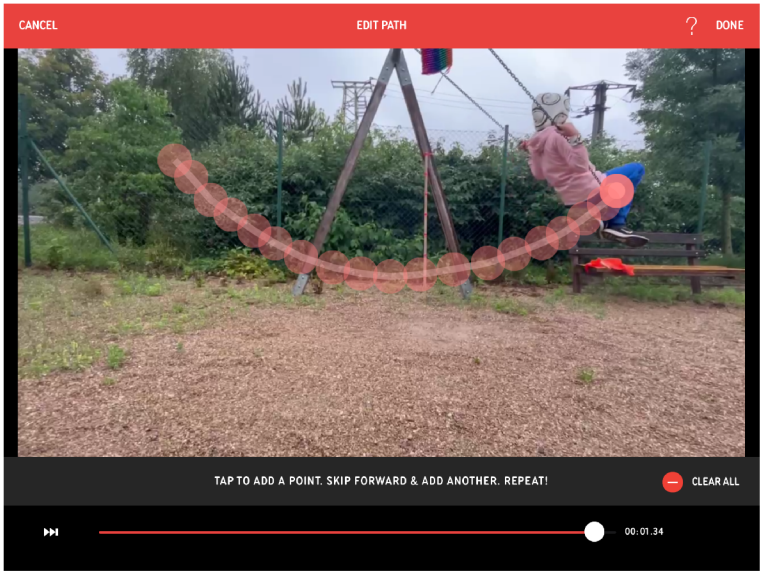
$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2, \tag{4.35}$$

kde v je rychlost ve směru posunutí. Pro určení této rychlosti by mohlo být využito videoanalýzy pohybu joja. Na změně polohové energie se může podílet i nenulová hmotnost provázku.

4.7 Videoanalýza pohybu

4.7.1 Houpačka

Pohyb houpačky jsme analyzovali v aplikaci *Playground Physics*. Video bylo natočeno iPhonem a přes funkci AirDrop jsme záznam poslali na iPad. Pro lepší vyznačení trajektorie jsme k sedačce houpačky připevnili míček výrazné barvy. Do aplikace jsme nahráli video a začali s vyznačováním bodů trajektorie houpačky. Následně jsme zadali výšku krajního bodu, kdy byla houpačka nejvýše, a také hmotnost dítěte na houpačce.



Obrázek 4.31: Vyznačené body trajektorie houpačky

Po uložení dat můžeme analyzovat dané veličiny pohybu. V první záložce „motion“ se zobrazuje vzdálenost objektu od počátku a také rychlost pohybu. Posuvníkem lze zvolit libovolný bod trajektorie. Rychlost se také zobrazuje v levém horním rohu.

Obrázek 4.32: Rychlost houpačky v nejnižším bodě

V záložce „force“ lze pouze přidat štítky stlačení nebo táhnutí. V podstatě jde o působení deformačních sil.

V poslední záložce „energy“ se zobrazuje potenciální a kinetická energie pohybu. Vpravo je posuvník, kterým nastavujeme vzdálenost nejnižšího bodu trajektorie od země. Zde se zobrazuje hodnota potenciální energie. Hodnota kinetické energie se zobrazuje u rychlosti v levém horním rohu. Opět lze umístit štítky, tentokrát ale označují nejvyšší hodnotu potenciální a kinetické energie. Všechny tyto štítky však můžeme přiřadit kamkoliv do videa.

Obrázek 4.33: Energie houpačky

Největší rychlost houpačky je v nejnižším bodě pohybu. Aplikace určila největší rychlost o velikosti $v = 2,79\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Rychlost lze také měřit ve směru osy x nebo y. Hodnoty energií v nejnižším bodě trajektorie jsou $K = 201,69\,\mathrm{J}$ a $U = 0,50\,\mathrm{J}$. V nejvyšším bodě jsou hodnoty $K = 0\,\mathrm{J}$ a $U = 255,74\,\mathrm{J}$. Velikost hodnot závisí na správném umístění bodů trajektorie a zadaných vstupních parametrech.

4.7.2 Hod míčkem

Na video jsme zachytili hod míčkem. V aplikaci *Playground Physics* jsme vyznačili jeho trajektorii a určili hodnoty příslušných veličin.

Trajektorií je část paraboly. Jedná se o šikmý vrh. Největší rychlost ve směru osy x je $v_x = 3,25\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Je to počáteční rychlost, kterým byl míček vržen. Rychlost ve směru osy y má největší hodnotu při dopadu $v_y = 2,95\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Celková rychlost dopadu je $v_1 = 3,76\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Míček se odrazil od země s rychlostí $v_2 = 2,13\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Můžeme tedy vidět, že došlo k nepružné srážce. Mohli bychom také určit koeficient vzpružitosti k, který udává míru ztráty kinetické energie po srážce dvou těles. Jeho hodnota se pohybuje od 0 do 1, kdy pro hodnotu 1 nastává dokonale pružná srážka a pro hodnoty blížící se k 0 těleso ztrácí velké množství své kinetické energie. Je to bezrozměrná veličina dána vztahem

$$k = \frac{v_2}{v_1}, \tag{4.36}$$

kde v_1 je rychlost míčku před srážkou a v_2 rychlost po srážce. Námi vypočtená hodnota koeficientru vzpružitosti je $k = 0,57$. Protože kinetická energie závisí na druhé mocnině rychlosti, je poměr kinetických energií roven 0,32. Míček tedy ztratil 68 % kinetické energie.

Po zadání hmotnosti míčku $m = 0,06\,\mathrm{kg}$ jsme chtěli určit hodnoty kinetické a potenciální energie. Pro tak nízkou hodnotu nám ale aplikace nic nenaměřila. Bylo by tedy vhodnější použít jiný typ míče.

Obrázek 4.34: Videoanalýza hodu míčkem

4.7.3 Zhodnocení

Aplikace je jednoduchá na ovládání a za krátký čas se s ní naučí pracovat téměř každý. Nesmíme však zapomenout na správné natočení videa. Je lepší pořídit několik zkušebních videí, než člověk zjistí, co je pro práci s aplikací nejlepší. Určitě je vhodný výrazný předmět, jehož trajektorii budeme trasovat. I když je video zpomalené, nemusí být předmět dobře viditelný.

Aplikace je vhodná pro používání na základních i středních školách. Žáci tak mohou vidět změnu energií v čase nebo také směr rychlosti při pohybu. Navíc ji lze využívat i doma v počítači. Postačí pouze natočené video na mobilní telefon a začít analyzovat.

Závěr

Cílem předkládané diplomové práce bylo pomocí známých postupů experimentů s mobilními zařízeními, jako je tablet či chytrý telefon ověřit jejich funkčnost a použití ve výuce fyziky. Pro výzkum byly použity experimenty z oblasti mechaniky. Při experimentech byl používán telefon značky iPhone model SE 1. generace. Pro měření jsme využívali aplikaci *phyphox*. Videoanalýza byla provedena na iPadu 9. generace. Data byla zpracovávána pomocí tabulkového programu Microsoft Excel.

Při měření rovnoměrného přímočarého pohybu bylo obtížné telefon připevnit k vozíčku dráhy tak, aby byl vyrovnaný a telefon dobře ovladatelný. Problém jsme vyřešili pomocí provázku a lepicí pásky. Připevnění telefonu k vozíku závisí na použité vozíčkové dráze, kterou máme k dispozici v laboratoři. Měřili jsme velikost magnetické indukce pomocí magnetometru v telefonu. Při měření nenastal žádný problém, kvůli kterému bychom nedokončili měření. Z naměřených hodnot času jsme sestrojili graf závislosti dráhy na čase, čímž jsme ověřili lineární závislost mezi těmito veličinami přo rovnoměrném přímočarém pohybu. Dále jsme pak porovnávali vypočtené velikosti průměrné a okamžité rychlosti. Experiment je vhodný spíše jako laboratorní úloha. Naměřená data vyžadují pro žáky časově náročnější zpracování. Podobným způsobem lze měřit i rovnoměrně zrychlený pohyb. Postačí pouze k vozíčku s telefonem přivázat urychlovací závaží.

Dalším pokusem byl volný pád. Aparatura pro tento experiment nevyžadovala žádné speciální pomůcky. Lze ji sestrojit pomocí běžných pomůcek v laboratoři. Pro měření doby volného pádu jsme využili akustické stopky. Jde o měření času mezi dvěma zvukovými signály. Každé měření jsme opakovali pětkrát. Jedním z úkolů bylo ověření vztahu pro výpočet dráhy volného pádu. Sestrojili jsme graf závislosti dráhy na čase a zobrazili rovnici této závislosti. Na obrázku 4.7 můžeme vidět, že tato závislost odpovídá rovnici teoretického modelu. Dále jsme ověřili i závislost dráhy volného pádu na čase, která je lineární. Dalším úkolem bylo ověření nezávislosti doby volného pádu na hmotnosti tělesa. Pro naše zvolené výšky $h_1 = 0,8\,\mathrm{m}$ a $h_2 = 1,4\,\mathrm{m}$ však hodnoty tíhového zrychlení vyšly vždy nižší než teoretická hodnota $g = 9,81\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$. Nejmenší relativní chyba měření byla 5 %. Pro možné další ověření bychom navrhovali četnější měření při větších výškách h. Pokus lze použít jako demonstrační experiment zařazený průběžně do výkladu nebo jako heuristický experiment. Vzhledem k tomu, že jde o pokus s akustickými stopkami, mohl by nastat problém při měření v laboratoři, kde měří více žáků najednou. Proto také uvádíme experiment, kdy lze volný pád demonstrovat pomocí akcelerometru. Postačí nám pouze nádoba s pískem nebo podobným materiálem a telefon v ochranné folii nebo pouzdře, který bude do nádoby padat z určité výšky. Po zvolení funkce „akcelerace s g“ v aplikaci *phyphox* telefon naměří nulové zrychlení při volném pádu v závislosti na čase. Tímto způsobem lze demonstrovat hodnotu tíhového zrychlení a při použití více mobilních zařízení, která mají různou hmotnost, lze ověřit i nezávislost volného pádu na hmotnosti.

Další experiment vhodný pro zařazení do výuky je měření periody rovnoměrného

pohybu po kružnici. Pomocí senzoru přiblížení jsme měřili periodu a půlperiodu jedné otočky vrtule. Aparaturu jsme sestavili pouze ze stejnosměrného motorku, tužkové baterie a dřevěné špachtle. Telefon jsme umístili pod okraj vrtule, která míjela pouze horní část telefonu, kde se nachází senzor přiblížení. Při tomto pokusu bylo někdy obtížné naměřit více hodnot za sebou. Senzor přiblížení reagoval se zpožděním nebo vůbec. U měření je tedy vhodná řádná příprava a vytrvalost. Nakonec jsme dokázali naměřit deset hodnot pro každou vrtuli. Z naměřených hodnot lze pak vypočítat další veličiny charakterizující pohyb po kružnici. Měření může být využito jako laboratorní úloha nebo ho lze využít jako projekt nebo zájmovou činnost pro žáky.

Při pokusu s nakloněnou rovninou jsme určovali hodnoty součinitele klidového a smykového tření. Pro součinitele klidového tření nám postačila pouze deska a hranoly z různých materiálů (nebo lze použít opačně více desek z různých materiálů a jeden hranol). Telefon byl připevněn k hranolu a pomocí náklonu jsme určovali úhel, při kterém se hranol dal do pohybu. Následně už pouze pomocí známého výpočtu určíme součinitele klidového tření. Bohužel jsme nenašli všechny tabulkové hodnoty součinitele klidového i smykového tření pro některé námi zvolené materiály. Ty z naměřených, které však lze porovnat, se od tabulkových hodnot lišily jen málo. Pro měření součinitele smykového tření jsme opět využili magnetometru. Postup měření byl podobný, jako u rovnoměrného přímočarého pohybu. Zde se však telefon pohyboval rovnoměrně zrychleně. Zrychlení telefonu jsme určili pomocí rovnice dráhy pro zrychlený pohyb. Součinitel smykového tření byl vypočítán podle odvozeného vzorce (4.18). Výsledky, které lze porovnat, se opět přibližovaly tabulkovým hodnotám. Tento experiment je tedy také vhodný pro laboratorní úlohu. Je už však náročnější na zpracování dat a je vhodné, aby žáci ovládali práci s některým tabulkovým programem.

Následně jsme provedli dva pokusy, které jsou náročnější především na zpracování dat. Opět je třeba znalosti práce s tabulkovým programem. Měřili jsme energii rotačního pohybu desky. Experiment opět nevyžaduje náročnou aparaturu a postačí nám pouze deska a lepicí páska, kterou telefon připevníme ke spodnímu okraji desky. Gyroskop v telefonu měřil úhlovou rychlost padající desky. Deska se otáčela kolem kratší hrany téměř o 90°. Z naměřených hodnot lze dopočítat energii desky v každém okamžiku jejího pohybu. Tím lze ověřit zákon zachování mechanické energie. Při padání desky se postupně zmenšuje potenciální energie a zvyšuje se kinetická energie. Na obrázku 4.24 můžeme pozorovat změny těchto energií. Jak již bylo zmíněno, tímto pokusem lze přibližně kvalitativně ověřit zákon zachování energie. Tedy může být použit jako verifikační experiment. Lze ho využít i k laboratornímu měření třeba do fyzikálního semináře nebo opět jako projekt.

Druhým neobvyklým experimentem bylo jojo. Měřili jsme dynamické vlastnosti joja a teoreticky popsali jeho pohyb. Protože jsme chtěli měřit jeho úhlovou rychlost pomocí smartphonu, potřebovali jsme jojo, ke kterému připevníme takové zařízení. Vyrobili jsme si tedy velké jojo o průměru 38 cm, do jehož středu se vložil telefon otáčející se kolem osy y. Z naměřených hodnot jsme sestrojili graf závislosti úhlové rychlosti na čase (viz obrázek 4.29). Maximální velikost úhlové rychlosti, kterou se jojo pohybovalo, byla $\omega = 27,3\,\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$. Z rostoucích a klesajících úseků jsme určili také úhlové zrychlení joja. Pokus by měl nabádat žáky k pokusům i mimo školní prostředí a vyzkoušet si tak experimentovat s běžnými pomůckami.

Nakonec jsme také vytvořili jednoduchou videoanaýzu pohybu v aplikaci *Playground Physics*. Výhodou této aplikace je, že se nemusí instalovat do tabletu nebo počítače, ale lze ji používat přímo ve webovém prohlížeči. Aplikace umožňuje trasovat předmět jehož pohyb je zachycen na videu, určovat velikost i směr jeho rych-

losti v čase a také zobrazuje velikost kinetické a potenciální energie pohybujícího se tělesa. V našem případě jsme analyzovali pohyb houpačky a hod míčkem. Při pohybu houpačky jsme k sedadlu přivázali svítivě žlutý míček, aby jsme v aplikaci na videu mohli houpačku lépe trasovat. Po vyznačení jednotlivých bodů trajektorie a zadání základních parametrů, jako je výška houpačky od země a hmotnost dítěte na houpačce, jsme mohli začít pozorovat, jak se mění velikost a směr rychlosti. Aplikace umožňuje zobrazení rychlostí ve směru vertikálním i horizontálním. Dále nabízí zobrazení změny kinetické a potenciální energie. Žáci si tak mohou lépe představit změny těchto energií při pohybu. Tato aplikace je jednoduchá a postačí pro pochopení základních vlastností při pohybu. Je vhodná pro žáky základních i středních škol. Lze ji použít zejména při zavádění pojmu rychlost a nebo energie. Podobně jsme analyzovali i pohyb míčku s trajektorií ve tvaru paraboly.

Pracovní listy k vybraným experimentům byly vytvořeny pro laboratorní měření ve školních laboratořích. Učitelé mohou tyto pracovní listy použít při své výuce. Žáci jej mohou vyplnit naměřenými hodnotami, svými výpočty, grafy a vlastním zhodnocením laboratorní úlohy. Jako elektronickou přílohu práce přikládám tři excelovské soubory s daty a na ně navazujícími výpočty pro měření v částech 4.4–4.6.

V úplném závěru můžeme tvrdit, že jsme úspěšně dosáhli našich cílů. Experimenty jsou použitelné při výuce, buď jako demonstrační nebo verifikační, nabo jako laboratorní cvičení. Některé experimenty lze zadat i jako domácí úlohu. Mohou posloužit také jako motivace žáků pro jejich vlastní iniciativu a rozvoj zájmů. Prakticky všechny experimenty také mohou posloužit k formulování problémů pro nadané žáky; většinou zjišťujeme, že teoretické modely středoškolské fyziky jsou jen přibližným popisem reálných dějů a otevírá se tak příležitost diskutovat možné zdroje chyb a nepřesností, případně vliv použitých zjednodušených předpokladů.

Literatura

[1] DOSTÁL, Jiři. *Experimentování žáků při výuce - nové možnosti a perspektivy.* Online. e-Pedagogium, 2014. Vol. 14(1), s. 7–19. https://e-pedagogium.upol.cz/pdfs/epd/2014/01/02.pdf. [Citováno 2023-08-02].

[2] ZORMANOVÁ, Lucie. *Využití tabletu ve výuce.* Online. Metodický portál: Články, 19.01.2022. ISSN 1802-4785. Dostupný z: https://clanky.rvp.cz/clanek/22972/VYUZITI-TABLETU-VE-VYUCE.html. [Citováno 2023-05-28].

[3] LOKŠOVÁ, Irena a Jozef LOKŠA. *Pozornost, motivace, relaxace a tvořivost dětí ve škole.* Praha: Portál, 1999. ISBN 80-7178-205-X.

[4] BURDEN, Paul R. *Powerful classroom management strategies: motivating students to learn.* Thousand Oaks, Calif.: Corwin Press, 2000. ISBN 0761975632.

[5] BÍLEK, M. *Zájem žáků o přírodní vědy jako předmět výzkumných studií a problémy aplikace jejich výsledků v pedagogické praxi.* FPV UKF Nitra, Acta Didactica 2/2008. ISSN 1337- 0073.

[6] FRYČ, Jindřich, Zuzana MATUŠKOVÁ, Pavla KATZOVÁ, Karel KOVÁŘ, Jaromír BERAN, et al. *Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+.* Online. Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2020. ISBN 978-80-87601-46-4. Dostupný z: https://www.msmt.cz/uploads/Brozura_S2030_online_CZ.pdf. [Citováno 2023-06-05].

[7] ATTEWELL, Jill. *Projektujeme třídu budoucnosti.* Online. European Schoolnet, 2015. Dostupné z: https://www.dzs.cz/sites/default/files/2020-08/BYOD.pdf. [Citováno 2023-08-02].

[8] TSOUKOS, S., LAZOS, P., TZAMALIS, P., KATERIS, A. a VELENTZAS, A. How Effectively Can Students'Personal Smartphones be Used as Tools in Physics Labs?. Online. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM).* 2021. Vol. 15(14), s. 55—71. Dostupné z: https://doi.org/10.3991/ijim.v15i14.22375. [Citováno 2023-08-02].

[9] ALEXANDROS, Kateris et al. Possible Technical Problems Encountered by The Teacher in The Incorporation of Mobile Phone Sensors in The Physics Lab. Online. *European Journal of Physics Education.* 2020. Vol. 11(2), s. 5-23, ISSN 1309-7202. Dostupné z: http://eu-journal.org/index.php/EJPE/article/view/275. [Citováno 2023-08-02].

[10] NEUMAJER, Ondřej. *Mobil všudypřítomnou didaktickou pomůckou a to díky senzorům.* Online. Řízení školy. Praha: Wolters Kluwer ČR a. s., 2015. Roč. 12, č. 11, s. 26-29. ISSN 1214-8679. Dostupné z: https://ondrej.neumajer.cz/

mobil-diky-senzorum-vsudypritomnou-didaktickou-pomuckou/. [Citováno 2023-06-05].

[11] MIKSA, Martin. Apple konečně dovolí výměny Face ID. Poškození už zřejmě uživatele nepřijde tak draho. Online. In: *mobilmania.zive.cz*, 25.02.2022. Dostupné z: https://mobilmania.zive.cz/clanky/apple-konecne-dovoli-vymeny-face-id-poskozeni-uz-zrejme-uzivatele-neprijde-tak-draho/sc-3-a-1354291. [Citováno 2023-06-05].

[12] *Jak funguje a k čemu slouží akcelerometr?*. Online, 2023 TME, 09.10.2020. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/22568/jak-funguje-a-k-cemu-slouzi-akcelerometr/#Jak-dziala-akcelerometr. [Citováno 2023-06-09].

[13] JAKL, Michal. *Inerciální navigační systém pro mobilní telefony*. Online. Praha, 2019. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/106282/120328744.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Citováno 2023-06-09].

[14] *Magnetometer basics for mobile phone applications*, Online. 2023 by AspenCore, 30.01.2012. Dostupné z: https://www.electronicproducts.com/magnetometer-basics-for-mobile-phone-applications/. [Citováno 2023-06-09].

[15] *Proximity Sensor*. Online. 2001-2023 Phone Factor, LLC. Dostupné z: https://www.phonescoop.com/glossary/term.php?gid=544. [Citováno 2023-06-09].

[16] SAL BHARADWAJ, Y. V. and V. N. SASTRY. Analysis on Sensors in a Smart Phone–Survey. Online. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*. 2014. Vol 1(9) ISSN: 2349-2163. Dostupné z: https://www.academia.edu/9299122/IJIRAE_Analysis_on_Sensors_in_a_Smart_Phone_Survey. [Citováno 2023-06-09].

[17] CHROUST, Martin a Filip KŮŽEL. *Smartphony mají 19 smyslů. Znáte je všechny?*. Online. CZECH NEWS CENTER a.s., 25.02.2015. Dostupné z: https://mobilmania.zive.cz/clanky/smartphony-maji-19-smyslu-znate-je-vsechny/sc-3-a-1329584/default.aspx. [Citováno 2023-06-09].

[18] ZAVŘEL, Roman. *Vše, co byste měli vědět o Face ID*. Online. 2011 - 2023, 16.09.2017. Dostupné z: https://www.letemsvetemapplem.eu/2017/09/16/face-id/#comments. [Citováno 2023-08-07].

[19] LUNA, Daniel. *El iPhone podría ocultar el notch según esta patente*. Online. 2023 Consume Global, 05.08.2021. Dostupné z: https://consumeglobal.com/tecnologia/smartphone/el-iphone-podria-ocultar-el-notch-segun-esta-patente/. [Citováno 2023-07-27].

[20] GALUBA, Grzegorz. *Akcelerometr – Jak to działa?*. Online. 20.01.2020. Dostupné z: https://botland.com.pl/blog/akcelerometr-jak-to-dziala/#Przyspieszeniomierze-wnbspdronach. [Citováno 2023-07-27].

[21] RWTH Aachen University. *phyphox – physical phone experiments*. Online. Dostupné z: https://phyphox.org/. [Citováno 2023-06-10].

[22] *Vernier Graphical Analysis*. Online. 2023. Dostupné z: https://www.vernier.com/product/graphical-analysis/. [Citováno 2023-06-10].

[23] LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia*. 5. vyd. Praha: Prometheus, 2013. ISBN 978-80-7196-431-5.

[24] NURYANTINI, Ade Yeti. Constant speed motion analysis using a smartphone magnetometer. *Physics Education*. 2018. Vol. 53 (065021), s. 1–4. ISSN 0031-9120. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328148371_Constant_speed_motion_analysis_using_a_smartphone_magnetometer. [Citováno 2023-07-23].

[25] *Smartphone-Experiment: Free fall*. Online, 21. 11. 2017. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=zRGh9_a1J7s. [Citováno 2023-06-05].

[26] KAPUCU, Serkan and Mertkan Imek. Determination of the angular velocity of a simple propeller with a smartphone proximity sensor. Online. *Physics Education*. 2021. Vol. 56 (033003), s. 1–4. Dostupné z: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/abe4ad. [Citováno 2023-08-02].

[27] CORAMIK, Mustafa and Handan ÜREK. Calculation of kinetic friction coefficient with Phyphox, Tracker and Algodoo. *Physics education*. 2021. Vol. 56 (065019), s. 1–9. ISSN 0031-9120. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/354278071_Calculation_of_kinetic_friction_coefficient_with_Phyphox_Tracker_and_Algodoo. [Citováno 2023-07-25].

[28] *Coefficient of Friction Equation and Table Chart*. Online. 2000–2023, Engineers Edge, LLC. Dostupné z: https://www.engineersedge.com/coeffients_of_friction.htm. [Citováno 2023-07-28].

[29] *Friction*. Online. Dostupné z: https://pressbooks.bccampus.ca/introductorygeneralphysics1phys1107/chapter/5-1-friction/. [Citováno 2023-07-28].

[30] PUTTHARUGSA, Chokchai and Samuk Pimanpang. Analyzing the rotational motion of rectangular board via smartphone sensors: a conservation-of-mechanical-energy approach. Online. *Physics Education*. 2021. Vol. 56 (0230055), s. 1–4. Dostupné z: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/abd67c. [Citováno 2023-08-06].

[31] SALINAS, I., MONTEIRO, M., MARTÍ, A. C., MONSORIU, A. Analyzing the Dynamics of a Yo-Yo Using a Smartphone Gyroskope Sensor. Online. *The Physics Teacher*. 2020. Vol. 58, č. 569, s. 1–4. Dostupné z: https://doi.org/10.1119/10.0002379. [Citováno 2023-08-06].

Seznam obrázků

2.1 Senzory v telefonu, převzato z [19] 15
2.2 Orientace os akcelerometru, převzato z [20] 15
2.3 Senzor přiblížení 16

3.1 Seznam senzorů v aplikaci phyphox 18
3.2 Funkce aplikace phyphox 18
3.3 Ukázka experimentu v aplikaci phyphox 19
3.4 Ukázka ručně zadaných hodnot do programu Vernier Graphical Analysis 19

4.1 Telefon upevněný na vozíčku 22
4.2 Ukázka naměřených hodnot intenzity magnetického pole v závislosti na čase při vzájemné vzdálenosti magnetů 10 cm 22
4.3 Naměřené hodnoty intenzity magnetického pole pro vzdálenost magnetů po řadě 10 cm, 15 cm a 20 cm ve směru osy z 23
4.4 Závislost dráhy na čase 24
4.5 Závislost dráhy na čase 27
4.6 Volný pád – aparatura 30
4.7 Závislost dráhy a rychlosti na čase volného pádu 31
4.8 Pád telefonu do nádoby se solí 32
4.9 Zrychlení telefonu při pádu do nádoby – ukázka měření 33
4.10 Měření zrychlení bez g a s g 33
4.11 Závislost dráhy volného pádu na čase 35
4.12 Závislost rychlosti volného pádu na čase 36
4.13 Pohyb po kružnici – pomůcky 39
4.14 Pohyb po kružnici – aparatura 39
4.15 Stopky pomocí přiblížení – nastavení parametrů 40
4.16 Těleso na nakloněné rovině 44
4.17 Klidového tření – aparatura 46
4.18 Funkce náklon – ukázka měření 46
4.19 Smykové tření – aparatura 47
4.20 Rovnoměrně zrychlen pohyb těles po nakloněné rovině 48
4.21 Závislost dráhy na čase rovnoměrně zrychleného pohybu 53
4.22 Rotace desky s telefonem 55
4.23 Závislost úhlové rychlosti a úhlu na čase 56
4.24 Energie desky při rotaci 57
4.25 Síly působící na jojo ve směru osy y, převzato z [31] 58
4.26 Úhlová rychlost při pohybu joja, převzato z [31] 59
4.27 Sestavené jojo 60
4.28 Jojo – detail 60
4.29 Časový průběh úhlové rychlosti joja ve směru osy y 61

4.30 Lineární regrese úhlové rychlosti joja 61
4.31 Vyznačené body trajektorie houpačky 63
4.32 Rychlost houpačky v nejnižším bodě 63
4.33 Energie houpačky 64
4.34 Videoanalýza hodu míčkem 65

Seznam tabulek

4.1 Naměřený čas . . . 23
4.2 Vypočtené časové intervaly a rychlosti v těchto intervalech . . . 24
4.3 Velikost rychlostí přímočarého pohybu . . . 25
4.4 Naměřený čas . . . 27
4.5 Vypočtené časové intervaly a jejich rychlosti . . . 28
4.6 Vypočtené hodnoty rychlostí . . . 28
4.7 Naměřený čas volného pádu . . . 30
4.8 Vypočtená dráha a rychlost volného pádu . . . 30
4.9 Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_1 a m_2 při dráze h . . . 31
4.10 Tíhové zrychlení pro m_1 a m_2 . . . 31
4.11 Naměřený čas volného pádu . . . 35
4.12 Čas, dráha a rychlost volného pádu . . . 35
4.13 Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_1 při dráze s . . . 36
4.14 Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_2 při dráze s . . . 37
4.15 Tíhové zrychlení pro m_1 . . . 37
4.16 Tíhové zrychlení pro m_2 . . . 37
4.17 Naměřené periody otáček . . . 40
4.18 Naměřené periody otáček . . . 43
4.19 Vypočtené veličiny . . . 43
4.20 Úhly náklonu desky a součinitel klidového tření pro různé materiály . . . 47
4.21 Naměřený čas na nakloněné rovině pro různé materiály . . . 48
4.22 Součinitel smykového tření . . . 49
4.23 Úhly náklonu desky a součinitel klidového tření pro různé materiály . . . 51
4.24 Naměřený čas na nakloněné rovině pro různé materiály . . . 52
4.25 Součinitel smykového tření . . . 53
4.26 Součinitel klidového tření . . . 54
4.27 Součinitel smykového tření . . . 54
4.28 Vypočtené hodnoty součinitele tření f_0 a f . . . 54
4.29 Vlastnosti desky . . . 56
4.30 Parametry joja a telefonu . . . 60

Příloha A

Pracovní listy

- Rovnoměrný přímočarý pohyb
- Volný pád
- Rovnoměrný pohyb po kružnici
- Nakloněná rovina

Laboratorní práce č.

Název: Rovnoměrný přímočarý pohyb
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Vůbec nejjednodušším případem rovnoměrného pohybu je pohyb rovnoměrný přímočarý. Při tomto pohybu se těleso pohybuje po přímé trajektorii. Během pohybu je rychlost tělesa konstantní. Tedy dráhy, které těleso urazí za stejný časový interval, jsou stejně veliké. Velikost rychlosti tělesa na časovém intervalu $t - t_0$ můžeme určit ze vztahu

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0},$$

kde s_0 je velikost dráhy v čase t_0 a s dráha v čase t. U tohoto pohybu je velikost okamžité rychlosti rovna rychlosti průměrné.

Závislost dráhy na čase u rovnoměrného přímočarého pohybu je část přímky. Tato přímka začíná v počátku souřadnicového systému a má rovnici

$$s = vt.$$

Pokud se těleso v čase $t_0 = 0$ s nachází ve vzdálenosti s_0 od zvoleného počátku, pak má rovnice tvar

$$s = s_0 + vt.$$

Polopřímka v tomto případě začíná na vertikální ose dráhy. Obráceně je tomu v případě, že se těleso nepohybovalo od počátku měření. Tedy po dobu t_0 těleso zůstalo v původní poloze a začalo se pohybovat až v čase t. Polopřímka grafu pak začína na časové ose. Tento pohyb je popsán rovnicí ve tvaru

$$s = v(t - t_0).$$

Pomůcky

Vzduchová vozíčková dráha s příslušenstvím, telefon s aplikací phyphox, magnety, provázek, lepicí páska, kancelářská lepicí guma, měřicí pásmo.

Úkol č. 1: Ověřte přímou úměrnost mezi dráhou a časem rovnoměrného přímočarého pohybu.

Postup

1. Na vozíčkovou dráhu umístíme ve stejně zvolených vzdálenostech Δl magnety tak, aby v jejich blízkosti mohl telefon snímat magnetické pole a zároveň nevadily pohybu vozíčku. Orientaci pólů magnetu volíme vždy opačnou, než u předchozího magnetu.

2. Na vozíček připevníme telefon pomocí provázku nebo lepicí pásky. Vozík musí být vyvážený a telefon dobře ovladatelný.

3. Vozík umístíme na vozíčkovou dráhu. Na telefonu v aplikaci *phyphox* zvolíme možnost měření pomocí magnetometru. Zmáčkneme tlačítko spustit a telefon začne měřit data. Dále pak rozpohybujeme vozík tak, aby se pohyboval rovnoměrně.

4. Po skončení pohybu stopneme měření v aplikaci a naměřená data si pojmenujeme a uložíme pro další možné zpracování dat.

5. Z možných grafů naměřených telefonem vybereme takový, na kterém se nejpravidelněji střídají kladné a záporné píky. Nakonec do tabulky zapíšeme hodnoty času pro příslušné výchylky v grafu. Z naměřených hodnot sestrojíme graf závislosti dráhy rovnoměrného přímočarého pohybu na čase.

Naměřené hodnoty a výsledky

s je vzdálenost magnetu od počátku (pozice magnetu)

Tabulka 1: Naměřený čas

	$\Delta l_1 =$	cm	$\Delta l_2 =$	cm	$\Delta l_3 =$	cm
výchylka	t_1/s	s_1/cm	t_2/s	s_2/cm	t_3/s	s_3/cm
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Obrázek č. 1: Závislost dráhy na čase

Úkol č. 2: Ověřte rovnost velikostí průměrné a okamžité rychlosti rovnoměrného přímočarého pohybu.

Postup

1. Z naměřených hodnot v úkolu č. 1 vypočítáme velikost průměrné rychlosti a průměr rychlostí v jednotlivých intervalech a výsledky porovnáme.

Naměřené hodnoty a výsledky

Výpočty:

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

Tabulka 2: Vypočtené časové intervaly a jejich rychlosti

$\Delta l_1 = 10\,\mathrm{cm}$		$\Delta l_2 = 15\,\mathrm{cm}$		$\Delta l_3 = 20\,\mathrm{cm}$	
$\Delta t_1/\mathrm{s}$	$\Delta v_1/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	$\Delta t_2/\mathrm{s}$	$\Delta v_2/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	$\Delta t_3/\mathrm{s}$	$\Delta v_3/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$

Tabulka 3: Vypočtené hodnoty rychlostí

$\Delta l/\mathrm{cm}$	$v_p/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$	$v/\mathrm{cm}\cdot\mathrm{s}^{-1}$

Závěr

Laboratorní práce č.

Název: Volný pád
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Zvláštním případem přímočarého rovnoměrně zrychleného pohybu tělesa je volný pád. Pohyb probíhá ve vakuu ve svislém směru s nulovou počáteční rychlostí. Pokud bychom neuvažovali odporové síly působící proti tomuto pohybu (odpor vzduchu, vztlaková síla), můžeme uvažovat, že těleso padá volným pádem i ve vzduchu. Podle druhého Newtonova pohybového zákona pak tíhová síla uděluje tělesu tíhové zrychlení $\boldsymbol{g}$, jehož vektor směřuje vždy svisle dolů. Pro dráhu a rychlost volného pádu platí vztahy

$$s = \frac{1}{2}gt^2,$$
$$v = gt,$$

kde s je dráha pohybu, t čas a v rychlost volného pádu.

Pomůcky

Stojan se svorkou, závaží, pevné pravítko, nůžky, měřicí pásmo, kovová podložka, chytrý telefon s aplikací phyphox, váhy.

Úkol č. 1: Určete závislost dráhy a rychlosti volného pádu na čase.

Postup

1. Stojan umístíme na okraj stolu a do svorky připevníme pravítko. Na podlahu přímo pod pravítko umístíme kovovou podložku.
2. Telefon položíme na stůl vedle stojanu a zapneme aplikaci *phyphox*. Zvolíme funkci akustických stopek a nastavíme vstupní parametry podle zobrazených instrukcí.
3. Položíme závaží na pravítko. V telefonu spustíme měření a nůžkami rychlým pohybem narazíme do pravítka. Na telefonu se spustí stopky a zastaví se ve chvíli, kdy závaží dopadne na podložku.
4. Měření opakujeme pětkrát pro každou výšku.
5. Z naměřených hodnot určíme průměrný čas volného pádu a následně dopočítáme dráhu a rychlost pádu. Nakonec znázorníme závislost dráhy a rychlosti volného pádu na čase.

Naměřené hodnoty a výsledky

Tabulka 1: Naměřený čas volného pádu

měření	t_1/s	t_2/s	t_3/s	t_4/s	t_5/s
1					
2					
3					
4					
5					
$\bar{t}/\mathrm{s}$					

Výpočty:

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

Tabulka 2: Čas, dráha a rychlost volného pádu

t/s					
s/m					
$v/\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$					

Obrázek č. 1: Závislost dráhy volného pádu na čase

Obrázek č. 2: Závislost rychlosti volného pádu na čase

Úkol č. 2: Ověřte nezávislost doby volného pádu na hmotnosti tělesa a určete hodnotu tíhového zrychlení.

Postup

1. Zvážíme si dvě různá závaží a postup měření opakujeme podle úkolu č. 1 pro dvě různé výšky, které si změříme pásmem.
2. Na základě naměřených hodnot ověříme nezávislost času volného pádu na hmotnosti padajícího tělesa.
3. Pomocí vztahu pro dráhu vypočítáme hodnotu tíhového zrychlení pro obě tělesa.

Naměřené hodnoty a výsledky

Hmotnost

$m_1 = \ldots\ldots\ldots \mathrm{g}$

$m_2 = \ldots\ldots\ldots \mathrm{g}$

Tabulka 3: Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_1 při dráze s

	$s_1 =$ m	$s_2 =$ m
měření	t_1/s	t_2/s
1		
2		
3		
4		
5		
$\bar{t}$/s		

Tabulka 4: Naměřený čas volného pádu tělesa o hmotnosti m_2 při dráze s

	$s_1 =$ m	$s_2 =$ m
měření	t_1/s	t_2/s
1		
2		
3		
4		
5		
$\bar{t}$/s		

Výpočty:

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

Tabulka 5: Tíhové zrychlení pro m_1

s/m		
t/s		
g/m·s^{-2}		

Tabulka 6: Tíhové zrychlení pro m_2

s/m		
t/s		
g/m·s^{-2}		

Závěr

Laboratorní práce č.

Název: Rovnoměrný pohyb po kružnici
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Pohyb po kružnici je pohyb, se kterým se setkáváme téměř denně. Pokud, je tento pohyb rovnoměrný, pak velikost jeho rychlosti je konstantní. Těleso konající tento pohyb opisuje kružnici a otáčí se kolem jejího středu. Je to pohyb periodický. Perioda T je doba jedné otáčky. Tedy doba, za kterou těleso opíše úhel $\alpha = 2\pi$. Počet otáček, za jednotku času popisuje fyzikální veličina frekvence f. Vztah mezi periodou a frekvencí je

$$T = \frac{1}{f}.$$

Těleso, které při pohybu opíše úhel $\Delta\alpha$ za dobu Δt, má tzv. úhlovou rychlost o velikosti

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}.$$

Při opsání úhlu $\alpha = 2\pi$ můžeme pro úhlovou rychlost psát

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad \text{nebo} \qquad \omega = 2\pi f.$$

Vztah mezi obvodovou a úhlovou rychlostí je dán vztahem

$$v = r\omega.$$

Pomůcky

Stejnosměrný motor 3 V, dvě dřevěné špachtle, tužková baterie 1,5 V, kancelářská lepicí guma, pravítko, telefon s aplikací *phyphox*.

Úkol č. 1: Určete periodu, frekvenci, úhlovou i obvodovou rychlost rovnoměrného pohybu po kružnici.

Postup

1. Do středu dřevěných špachtlí uděláme otvor pro nasazení dřívka na hřídel motoru. Dbáme na velikost, otvor nesmí být příliš velký. U jedné špachtle odstraníme jeden z konců asi 1 cm za středem.

2. Motorek pomocí lepicí gumy připevníme ke stolu tak, aby nasazená špachtle byla vodorovná.

3. Na telefonu zapneme aplikaci *phyphox* a zvolíme funkci „stopky pomocí přiblížení“. Nastavíme hodnotu „spustit pod“ na 10 cm a hodnotu „spustit nad“ na 100 cm. Telefon umístíme pod konec dřívka, který bude míjet pouze horní konec telefonu.
4. Spustíme měření, připojíme motorek k baterii a ověříme, že senzor zachytává pohyb dřívka nad ním. Po zkušebním měření naměříme hodnoty pro obě dřevěné špachtle. Měříme alespoň 1,5 minuty.
5. Z naměřených hodnot určíme periodu jedné otočky a jedné půl otočky. Dále vypočítáme další veličiny charakterizující rovnoměrný pohyb po kružnici a porovnáme vypočtené výsledky.

Naměřené hodnoty a výsledky

Vzdálenost středu otáčení a konce dřevěné špachtle $r =$ ....

Tabulka 1: Naměřené periody otáček

	celá otočka	půl otočky
měření	T_1/s	T_2/s
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
$\bar{T}$/s		

Výpočty:

....

....

....

....

Tabulka 2: Vypočtené veličiny

veličina	celá otočka	půl otočky
T/s		
f/Hz		
$\omega/\mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-1}$		
$v/\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$		

Závěr

Laboratorní práce č.

Název: Nakloněná rovina
Jméno:
Ročník:
Spolupracoval:
Datum měření:
Laboratorní podmínky:
Teplota: Tlak: Relativní vlhkost:

Teorie

Tření je fyzikální jev, který vzniká při těsném kontaktu mezi dvěma tělesy. Rozlišujeme tření klidové a smykové. Při klidovém tření jsou tělesa vzhledem k sobě v klidu. U smykového tření se jedno těleso pohybuje po druhém.

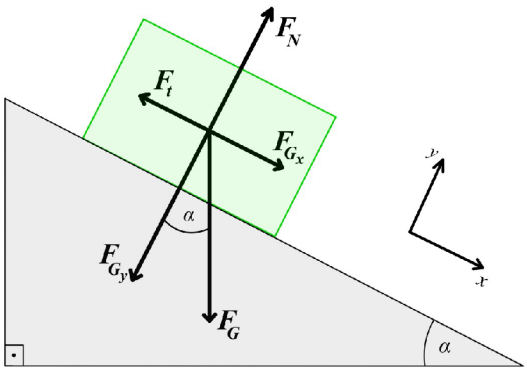
Při tření mezi tělesy působí třecí síla, která je brzdnou silou a působí proti pohybu těles (resp. změně klidového stavu). U klidového tření se tato síla nazývá klidová (statická) třecí síla a značíme $\boldsymbol{F_s}$. Velikost této síly určíme ze vztahu

$$F_s = f_0 F_N,$$

kde f_0 je konstanta úměrnosti a F_N kolmá tlaková síla mezi tělesy. Konstanta f_0 se nazývá součinitel klidového tření a je to bezrozměrná veličina závisející zejména na jakosti styčných ploch těles. Analogicky u smykového tření působí třecí síla za pohybu $\boldsymbol{F_t}$, jejíž velikost je dána vztahem

$$F_t = f F_N,$$

kde f je součinitel smykového tření.



Výpočet součinitele tření tělesa na nakloněné rovině závisí také na úhlu náklonu roviny. V případě, kdy je těleso na nakloněné rovině v klidu, pro součinitele klidového tření platí vztah

$$f_0 = \tan \alpha,$$

kde α je úhel náklonu roviny. Pokud těleso po nakloněné rovině smýká směrem dolů, pak výslednice sil je podle druhého Newtonova zákona rovna součinu hmotnosti tělesa a jeho zrychlení. Pro součinitele smykového tření pak platí vztah

$$f = \frac{g \sin \alpha - a_x}{g \cos \alpha},$$

kde g je tíhové zrychlení a a_x zrychlení tělesa ve směru pohybu (ve směru osy x).

Pomůcky

Deska (nakloněná rovina), hranoly z různých materiálů (např. dřevo, kov, sklo, tkanina, ...), telefon s aplikací phyphox, lepicí páska, magnety, kancelářská lepicí guma, měřicí pásmo.

Úkol č. 1: Určete součinitel klidového tření

Postup

1. Telefon připevníme pomocí pásky k hranolu. Spodní strana hranolu musí být čistá.

2. Hranol se smartphonem položíme na desku. Zapneme aplikaci phyphox a zvolíme funkci náklon. Po spuštění měření začneme desku pomalu naklánět. V okamžiku, kdy se dá hranol s telefonem do pohybu, desku vrátíme do vodorovné polohy. Z grafu naměřených hodnot tak lépe určíme hodnotu úhlu.

3. Měření opakujeme pro každý materiál alespoň desetkrát. Z naměřených hodnot úhlů určíme průměrnou hodnotu a vypočítáme součinitel klidového tření. Výsledky porovnáme s hodnotami z MFCH tabulek.

Naměřené hodnoty a výsledky

Materiál nakloněné roviny: .....

Tabulka 1: Úhly náklonu desky a součinitel klidového tření pro různé materiály

materiál			
měření	$\alpha_1/^\circ$	$\alpha_2/^\circ$	$\alpha_3/^\circ$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
$\bar{\alpha}/^\circ$			
f_0			

Výpočty:

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

Úkol č. 2: Určete součinitel smykového tření

Postup

1. Desku nakloníme pod takovým úhlem, aby po ní hranol z příslušného materiálu klouzal. Můžeme vycházet z naměřených hodnot v úkolu 1.
2. Na hranu desky připevníme pomocí lepicí gumy magnety vždy po 10 centimetrech. První magnet umístíme asi 10 cm pod horní okraj desky. Orientaci pólů magnetu volíme vždy opačnou, než u předchozího magnetu.
3. Telefon připevníme pomocí pásky k hranolu. Spodní strana hranolu musí být čistá.
4. Zapneme aplikaci phyphox a zvolíme funkci magnetometr. Spustíme měření a hranol s telefonem položíme k hornímu okraji nakloněné roviny tak, aby byl horní okraj telefonu nejblíže magnetům.
5. Po skončení pohybu stopneme měření v aplikaci a naměřená data si pojmenujeme a uložíme pro další možné zpracování dat. Měření provedeme pro každý materiál.
6. Z grafu naměřených hodnot odečteme čas, kdy telefon míjel jednotlivé magnety ve směru osy x. Sestrojíme závislost dráhy na čase rovnoměrně zrychleného pohybu a určíme zrychlení klouzajícího tělesa. Nakonec vypočítáme součinitel smykového tření. Výsledky porovnáme s hodnotami z MFCH tabulek.

Naměřené hodnoty a výsledky

Tabulka 2: Naměřený čas na nakloněné rovině pro různé materiály

materiál			
s/m	t_1/s	t_2/s	t_3/s

Obrázek č. 2: Závislost dráhy na čase rovnoměrně zrychleného pohybu

Tabulka 3: Součinitel smykového tření

materiál			
$\alpha/^\circ$			
$a_x/\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$			
f			

Výpočty:

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

Závěr