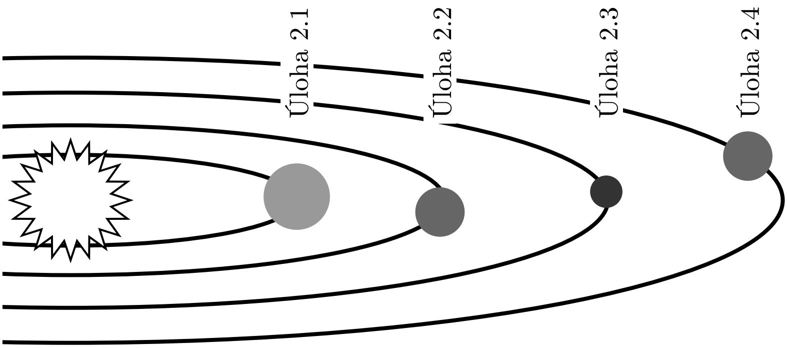
Studentský matematicko-fyzikální časopis

M&M

Ročník XVI / Číslo 2



Milí kamarádi,

spolu s novým ročníkem přicházíme i s několika novinkami v našem časopise. Pravděpodobně jste si již všimli obsahu a obrázku na úvodní straně. Ovšem hlavní novinkou pro vás budou **organizátorské články**. V nich bychom vám rádi přiblížili některá témata, o nichž si myslíme, že by se vám mohla hodit. V tomto čísle tak naleznete článek o tom, jak zpracovávat vaše fyzikální měření, který možná hned využijete při řešení tématu 5. V dalších číslech bychom vám rádi pověděli něco o užitečných programech, jako jsou Matlab či Octave, Gnuplot a další. Pokud víte o nějakém tématu, které by vás zajímalo, nebojte se nám napsat na naši e–mailovou adresu `mam@atrey.karlin.mff.cuni.cz`.

Rádi bychom vám připomněli možnost zasílat nám své návrhy na tématka. Nově se také těšíme na články o matematice, fyzice či informatice, které jsou mimo témata. Jestli jste například zpracovali zajímavou seminární práci, zašlete nám ji. Pokud nám přijde text přínosný, rádi jej otiskneme a případně k němu i otevřeme tématko. Vaše práce se takto může stát odrazovým můstkem k řešení problémů pro ostatní řešitele.

Navíc bychom vás chtěli pozvat na **Den otevřených dveří na Matematicko–fyzikální fakultě Univerzity Karlovy**, který proběhne **26. listopadu**. Podrobnější informace o tom, na co se můžete těšit, se dozvíte na adrese `http://www.mff.cuni.cz/verejnost/dod/`.

A na závěr bychom vás chtěli ještě upozornit na zajímavý projekt Akademie věd **Otevřená věda**. Je to taková konkurence starých známých SOČek. Projekty budou dvouleté a budou probíhat na různých pracovištích akademie. Jsou určeny výhradně nepražákům. Již brzy se budete moct začít hlásit na jednotlivá témata (sledujte stránky Akademie věd), měli byste to ale stihnout do konce listopadu. Pokud se na jedno téma přihlásí víc lidí, nemele ten, kdo dřív přijde, ale vedoucí si vybere podle toho, co o sobě hezkého prozradíte. Takže je dost času nechat si vše projít hlavou. Ti nejúspěšnější se nakonec podívají do Irska. Snad se Vám něco zalíbí.

Příjemné čtení a přemýšlení přejí

organizátoři.

Zadání úloh

Termín odeslání druhé série: 7. 12. 2009

Úloha 2.1 – Slavnostní přípitek (5b)

Jistě znáte, jak malý princ putoval po asteroidech 325, 326, 327, 328, 329 a 330 a pak se dostal na Zemi. Nebylo to tak úplně přesně. Než malý princ na Zemi potkal lišku a zažil další dobrodružství, navštívil ještě několik planet. Po tom, co malý princ opustil zeměpisce, se dostal na malinkatou planetku, kde žil ceremoniář.

„Buď pozdraven vzácný hoste!“ vítal malého prince.

„Dobrý den,“ odpověděl malý princ.

„Špatně! Máš odpovědět: také buď pozdraven slovutný ceremoniáři. A vůbec, neruš mě, mám práci,“ odbyl ceremoniář malého prince a sklonil se zpět ke svému papíru.

„Co děláte?“ neudržel svou zvědavost malý princ.

„Připravuji velmi důležitou recepci. Ale nemůžu přijít na to, jak to vhodně zrealizovat. Recepce bude začínat přípitkem a v tom je ten problém. Všech n hostů bude sedět kolem kulatého stolu. Samosebou si každý musí při přípitku přiťuknout s každým. Ale jak to udělat? V jednom kole ťukání si může přiťuknout i více dvojic, ale nikdy se nesmí křížit rukama. To je ve vyšší společnosti nepřijatelné, neboť někteří lidé věří, že to nosí smůlu. Zároveň ale přípitek nesmí být moc dlouhý, protože by omezil další program. Tak vymýšlím, jak to udělat, aby se to zvládlo na co nejméně kol,“ řekl ceremoniář a už byl opět skloněný nad svým papírem.

A co vy, věděli byste jak poradit ceremoniáři?

Úloha 2.2 – Atlet (4b)

Další planetka už z dálky zářila svou červenou barvou. Vypadala, jako by z oka vypadla Marsu. Uprostřed jedné z planin stál atlet. Kolem něj ležely asi kilové koule. Stejnou držel atlet ve své ruce a usilovně se soustředil.

„Dobrý den, co tady děláte?“ zeptal se malý princ, když atleta uviděl.

„Trénuji. Chci totiž vyhrát sázku,“ odpověděl atlet. Ještě chvíli se soustředil. Pak zařval a odhodil kouli.

„A jakou sázku chcete vyhrát?“ vyzvídal malý princ.

„Vsadil jsem se s bratrem, že pokud hodím správnou silou a správným směrem, tak zasáhnu libovolné místo na této planetě. Některá místa jsem už trefil, ale na jiná jsem zatím nedohodil, tak trénuji,“ odpověděl atlet a už si vybíral novou kouli.

Tato sázka malého prince zaujala, a tak začal o problému přemýšlet. Povrch planety byl dostatečně rovný, aby se to atletovi povedlo. Atmosféra byla také zanedbatelná. Jak má atlet postupovat, aby vyhrál svou sázku?

Úloha 2.3 – Číšník (4b)

Následující planeta byla maličká. Větší část jí zaplňoval čtvercový stůl, který měl uprostřed jednu nožku, takže se s ním dalo otáčet. U stolu stál číšník, který leštil sklenici. Když uviděl malého prince, tak ji odložil na stůl k dalším třem a přivítal malého prince: „Vítej, vážený hoste! Posaď se u tohoto stolu prosím,“ a usadil jej.

„Děkuji,“ špitl malý princ a rozhlížel se po stole. Byly zde čtyři sklenice a jinak nic.

„Mohu ukázat své umění. Pouhé obsluhování hostů mě už přestalo bavit, tak jsem se naučil něčemu novému. Zavaž mi oči, a pak můžeš některé z těchto sklenic obrátit dnem vzhůru. Položím ruce na dvě z nich. Některé otočím. Pak ti řeknu a můžeš stolem otočit o libovolný celočíselný násobek 90°. Následně opět položím ruce na dvě sklenice a některé otočím a tak to půjde dál a dál. Uvidíš, že za chvíli budou všechny sklenice stejně orientované.“

Malého prince to opět zaujalo a tak začal přemýšlet. Podaří se to číšníkovi? Jak to dělá? Co kdyby měl číšník tři ruce a na stole bylo pět sklenic umístěných do vrcholů pravidelného pětiúhelníku? Stůl by se potom otáčel o násobky 72°.

Úloha 2.4 – Kuchařky (2b)

Poslední planeta už z dálky voněla. Planetce vévodila veliká pec, u které stály tři kuchařky. Střídaly se v míchání velikého hrnce a o něčem se dohadovaly.

„O čem se hádáte?“ vpadl jim do rozhovoru malý princ.

„Vaříme polívku. Suroviny do polévky máme společné, ale neměly jsme dřevo, abychom mohly zatopit v peci. Proto jsem donesla ze svých zásob tři polínka,“ řekla jedna.

„Já jsem donesla dokonce pět polínek,“ řekla druhá.

„A já jsem těm dvěma dala 8 peněz, protože už doma žádné dřevo nemám,“ dodala ta poslední.

„Nevíte jak rozdělit peníze, aby to bylo spravedlivé? Ale to je přece jednoduché, 3 a 5 to není, to ví každý,“ řekl vesele malý princ a už utíkal na další planetu, zpět do svého dobrodružství, které popsal pan Antoine de Saint–Exupery.

A co vy? Dovedli byste spravedlivě rozdělit peníze?

Zadání témat

Téma 4 – Senoseč

Není tomu tak dávno, kdy vedle skoro každého vesnického stavení byla králikárna a ve stodole kráva. Tato zvířata jsou velice užitečná, ale je nutné jim připravit dostatek sena na zimu. Proto se každé léto vyráželo na senoseč, kdy se sekala vzrostlá tráva, která se následně sušila a sklízela. Zároveň se louky, či jejich části, během let prodávaly a směňovaly, a tak mají občas velmi podivné tvary. Některé mají pravidelný tvar, jiné jsou konvexní a některé konkávní. Uprostřed některých luk jsou stromy, a těm je potřeba se vyhnout. Pak kosená plocha obsahuje „díry“. Sekáče si můžete představit, jako „pohybující se úsečku“ dlouhou asi dva metry. To, přes co přejde tato „úsečka“, je pokosené. Pokud chcete být přesnější, můžete si sekáče představit jako polokružnice o poloměru jeden metr.

Jak asi tušíte, není občas jasné, jak by se takoví sekáči měli po louce pohybovat, aby stihli svou práci co nejrychleji. Můžete zase uvažovat různé případy. Třeba sekáče, který nemá rád ostatní, a tak si vše udělá sám. Sekáče dvojčata, či vícerčata, kteří jsou tak sehraní, že sečou stejnou rychlostí. Nebo zcela obecný případ, kdy máme více sekáčů, kteří sečou různými rychlostmi.

Téma 5 – Trosečník

Bouře vrcholila a zvuk hromu přehlušila rána, když loď narazila na skaliska. V potemnělých vodách bylo vidět, jak několik námořníků naskákalo v záchranných vestách do malých záchranných člunů, které se pod přívaly rozbouřených vln postupně naplňovaly…

„Ach jo, už zase, člověk by nečekal, že se mi taková smůla stane dvakrát za život,“ pomyslel si Robinson, který se právě probral na pláži neznámého ostrova. S rutinou zkušeného trosečníka prošel ostrov a zjistil, že i tentokrát je opuštěný. „To tu mám zase tvrdnout přes dvacet let? Chtělo by to přivolat pomoc,“ řekl si Robinson a šel se porozhlédnout, zda vlny nevyplavily nějaký užitečný materiál…

Zkusme se zamyslet, jak bychom se v podobné situaci zachovali my. Budeme doufat, že nám voda vyplavila nějaké užitečné předměty, které máme doma k dispozici. Můžeme se pokusit založit veliký oheň a přivolat pomoc, ale to je velmi namáhavé. Co takhle si vyrobit jednoduchý vysílač? Robinsonův příběh se odehrával v 18. století, což je také doba, kdy začala vznikat elektromagnetická teorie. A právě tyto poznatky nám snad pomohou, abychom se v případě, že se nám stane něco podobného, z opuštěného ostrova dostali.

Víme, že při průchodu proudu vodičem vzniká magnetické pole. Pokud se toto pole mění, což je tehdy, pokud se mění proud, který protéká vodičem, začnou se vzduchem šířit elektromagnetické vlny, které dovedeme zachytit na klasickém rádiu. Pokud bychom tedy vytvořili nějaký obvod, který by začal kmitat, mohli bychom tak vysílat signál, který by ostatní zachytili na svých radiích.

Nejjednodušším oscilačním obvodem je spojení kondenzátoru a cívky. Kondenzátor si můžete představit jako dvě destičky, které jsou blízko sebe. Pokud na vývody kondenzátoru přivedeme napětí, začne se kondenzátor nabíjet, a na destičkách se objeví elektrický náboj. Po nabití můžeme kondenzátor připojit k cívce. Obvod začne kmitat, a tím také vysílat elektromagnetické vlny. Jak závisí frekvence kmitání na kapacitě a indukčnosti použitých součástek nám říká tzv. Thompsonův vztah:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ovšem, jak asi předpokládáte, tak Robinson s sebou žádný kondenzátor ani cívku neměl. Proto nás při stavbě vysílače čeká mnoho práce. Zkuste navrhnout, jak byste třeba z klasického alobalu a kancelářského papíru vyrobili kondenzátor. Inspirovat se můžete u tzv. svitkových kondenzátorů. Dále bude potřeba prozkoumat vlastnosti cívek. Jaké parametry by měly mít cívka a kondenzátor? Uměli byste vytvořit nějaký zdroj energie (například zinko-uhlíkový článek)? A pokud jste stále nenašli žádné téma, které by vás zaujalo, můžete alespoň popsat, jak by Robinson mohl určit svou zeměpisnou polohu, kterou by sdělil svým zachráncům. Své návrhy zkuste nejen teoreticky popsat, ale také vyzkoušet v praxi a napsat nám, jakých výsledků jste dosáhli.

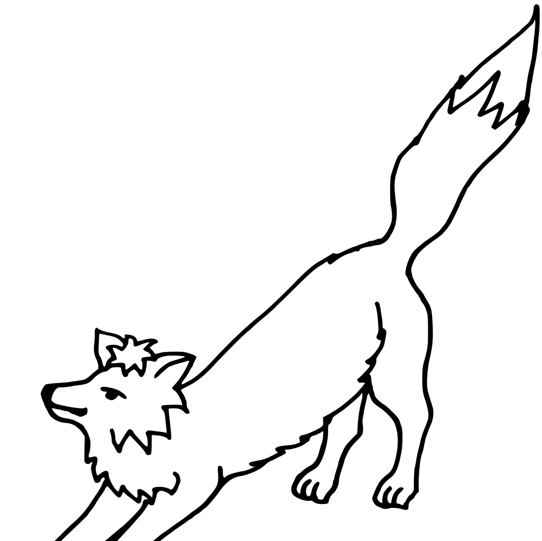
Téma 6 – Měnová reforma

Peníze mají zvláštní fyzikální vlastnost – čím méně jich je, tím větší mají hmotnost. Alespoň v mé peněžence to tak platí. Veškeré vložené bankovky postupem času erodují na spoustu dvacetikorun, pětikorun a korun, které se hromadí na dně peněženky. Někdy si říkám, jestli to není chyba systému. Komu by se chtělo lovit v hlubinách peněženky spoustu mincí a zaplatit přesně, když může zaplatit jedinou bankovkou (a dostat nazpět novou hromádku mincí). Uznejte sami, že zaplatit třeba 49 korun přesně není hračka – potřebujete k tomu alespoň 5 mincí těch správných hodnot, a to nemluvím o placení 88 korun, kdy je potřeba dokonce 6 mincí o šesti různých hodnotách. Proč máme zrovna koruny, dvoukoruny, pěti-, deseti-, dvaceti- a padesátikoruny, a ne tříkoruny, jedenáctikoruny a čtyřicetidvoukoruny?

Copak neexistuje žádný vhodnější systém? Předpokládejme, že lidé platí všechny částky mezi 1 a 99 korunami stejně často a stovky platí bankovkami. Svým způsobem by bylo nejvhodnější mít 99 různých mincí, aby bylo možné zaplatit každou částku jedinou mincí. Na druhé straně, chtělo by se vám u pokladny vždycky vysypat z peněženky spoustu různých mincí a hledat, jestli mezi nimi je ta jediná správná? Mně tedy ne. To bych raději všechno platila jednokorunami…

Možná by to chtělo kompromis mezi předchozími dvěma přístupy. Řekněme, že bychom chtěli používat nanejvýš tři různé typy mincí. Jaké hodnoty mají mít, aby byl průměrný počet mincí potřebných na zaplacení libovolné částky mezi 1 a 99Kč co nejmenší? Co kdybychom povolili čtyři, pět nebo šest mincí různých hodnot. Je pro šest mincí nejlepší ten systém, který používáme?

Na obranu 1, 2, 5, 10, 20 a 50-ti korun musím říct jedno: pokud člověk má dost mincí od každého druhu, je velmi snadné s nimi platit tak, aby byl použit nejmenší možný počet mincí – nejprve zaplatíte největší mincí, která má menší hodnotu, než částka, kterou chcete zaplatit, pak použijete největší minci, kterou můžete zaplatit to, co ještě zbývá po zaplacení první mincí, a takto postupujete, dokud nezaplatíte celou částku. Zkuste, aby tuto vlastnost měly i hodnoty mincí, které navrhnete, tedy aby bylo, co do počtu mincí, optimální platit nejprve největší použitelnou mincí, a pak vždy největší mincí, která nepřevyšuje částku, kterou ještě zbývá doplatit. Přece byste nechtěli stát ve frontě jen proto, že paní před vámi se rozmýšlí, zda má 21 korun platit třemi sedmikorunami, nebo patnáctikorunou a třemi dvoukorunami.



Jak zpracovávat fyzikální měření

Ve fyzikálních problémech často potřebujete něco změřit. Většinou ale nestačí jen vzít měřidlo a odečíst hodnotu. Aby mělo měření nějaký smysl, musíte ten odečet provést vícekrát a měření správně zpracovat. Tady vám přinášíme návod, jak na to. Pro další studium zpracování fyzikálních měření vám doporučujeme nahlédnout do [1]. Tento text vyšel po úpravě také knižně [2].

Pokud je výsledkem měření číselná hodnota, patří k ní vždy i nějaká chyba. Chyba měření *není* odchylka vámi změřené hodnoty od té tabulkové (nebo jinak prohlášené za správnou), ale chyba toho, jak jste měřili právě vy. To znamená, že i když vám náhodou vyjde gravitační zrychlení na dvě desetinná místa shodné s tabelovanou hodnotou, chyba může být přesto řádu $0{,}1\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$, protože s vašimi pravítky, pochybnými stopkami s necitlivými knoflíky na mobilu a rychlostí reakce o moc přesněji měřit nebudete.

Obvykle provádíme více měření. Z nich určíme střední (průměrnou) hodnotu (viz. dále). Spolu s chybou ji zapisujeme ve tvaru:

$$x = (\text{střední hodnota} \pm \text{chyba})\,\text{jednotka}\,.$$

Obě uvedená čísla zaokrouhlíme. Chybu na jednu platnou cifru[1] (v případě, že je to jednička, můžeme uvést dvě). Hodnotu průměru pak zaokrouhlíme tak, aby její poslední platná cifra byla na stejném místě, jako poslední platná cifra chyby.

Chyba se skládá z několika částí – systematické chyby měřícího přístroje a metody a chyby statistické.

Chyba měřidla říká, jak přesně odpovídá údaj na měřidle skutečné měřené hodnotě. (Pravítko je vyrobeno s nějakou omezenou přesností, váhy nejsou zcela přesně rovnoramenné, jedno „tiknutí“ stopek nemusí trvat přesně jednu sekundu apod.) Může být explicitně uvedena v návodu, případně na měřidle (typicky u různých elektronických přístrojů a vah). Pokud tomu tak není, považuje se za ni většinou polovina nejmenšího dílku stupnice. Například nejmenší dílek na pravítku bývá 1 mm, takže systematická chyba je 0,5 mm, není-li uvedeno jinak.

Chyba metody je způsobená tím, že při měření zanedbáváme některé existující vlivy. (Určitou součástku považujeme za ideální, zanedbáváme odpor vzduchu, deformaci atd.) Pokud tyto vlivy nemůžeme nebo nechceme přesně vyjádřit, musíme je vzít v úvahu jako systematickou chybu metody. Ta nám říká, jak moc mohou ovlivnit naměřené hodnoty. Většinou nezbývá, než tuto chybu kvalifikovaně odhadnout.

Tyto dvě chyby sečteme a nazveme systematickou chybou měření.

[1] Platné cifry počítáme směrem doprava v zápisu čísla od první nenulové po poslední nenulovou. Tedy číslo 12030 má čtyři platné cifry, zatímco číslo 0,0021 dvě.

Měření se provádí opakovaně (N-krát). Za střední naměřenou hodnotu bereme aritmetický průměr.

$$\overline{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{N}\,. \tag{1}$$

Statistická chyba měření vyjadřuje míru toho, jak náhodné jevy ovlivňují naměřenou hodnotu. Je tedy třeba upozornit, že se z jediného měření nedá určit. Třeba když měříte posuvným měřítkem (čili šuplérou), můžete vzorek různě stisknout, ten se různě zdeformuje, a vy pak odečtete různé hodnoty. Proto statistická chyba měření šuplérou bude větší u gumy než u oceli. :-) Při jejím výpočtu vycházíme z absolutních hodnot rozdílů jednotlivých změřených hodnot a hodnoty průměrné $x_i - \overline{x}$. Nejčastěji se počítá *směrodatná odchylka aritmetického průměru* definovaná jako

$$s = \frac{1}{\sqrt{N(N-1)}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \overline{x})^2}\,. \tag{2}$$

Abychom mohli tento vztah použít, měli bychom mít naměřeno alespoň deset hodnot.

Může se stát, že některá ze změřených hodnot je „úplně mimo“. Takové by se měly ze zpracování vyloučit. „Ujetá“ hodnota se pozná podle toho, že rozdíl jí a průměru je větší než $3 \cdot s$.

Chceme-li spočítat chybu měření veličiny, kterou teprve spočteme z měřených veličin, máme na výběr. Buď můžeme používat následující vzorečky pro horní odhad chyby měření. (Je rozumné je použít pro výpočet výsledné systematické chyby.) Máme-li dvě naměřené veličiny $a = (\overline{a} \pm s_a)$ a $b = (\overline{b} \pm b_s)$, pak

$$\begin{aligned}
a + b &= (\overline{a} + \overline{b}) \pm (s_a + s_b)\,,\\
a - b &= (\overline{a} - \overline{b}) \pm (s_a + s_b)\,,\\
a \cdot b &= (\overline{a} \cdot \overline{b}) \pm (a \cdot s_b + b \cdot s_a)\,,\\
a/b &= (\overline{a}/\overline{b}) \pm (s_a/b + a \cdot s_b/b)\,.
\end{aligned} \tag{3}$$

V případě, že jsme směrodatné odchylky jednotlivých veličin x_i získali statistickým zpracováním výsledků, můžeme použít následující přesnější vzorec pro celkovou směrodatnou odchylku měření, který ale obsahuje derivace.

$$s_F = \sqrt{\sum_{j=1}^{k} \left(\frac{\partial F}{\partial x_j}\right)^2 \cdot s_{x_j}^2}\,, \tag{4}$$

Tedy předpis naší funkce $F(x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_k)$ zderivujeme podle všech veličin, které jsme změřili, přičemž ostatní považujeme za konstantní. Vynásobíme je chybou příslušné veličiny. Umocníme na druhou, sečteme a odmocníme.

Celková chyba měření je dána vztahem

$$s_{\mathrm{celk}} = \sqrt{s_{\mathrm{stat}}^2 + s_{\mathrm{syst}}^2}\,. \tag{5}$$

Literatura

[1] J. Englich: *Zpracování výsledků fyzikálních měření*, 1999,
`http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni.pdf`.
[2] J. Englich: *Úvod do praktické fyziky I.*, Matfyzpress, Praha 2006,
ISBN 80-86732-93-2.

Úloha 2.5 – Měření tíhového zrychlení (2b)

Asi všichni znáte tíhové zrychlení. Tato konstanta určuje velikost gravitační síly, kterou Země působí na objekty v blízkém okolí povrchu. K jejímu měření můžeme využít fyzické kyvadlo. Doba kmitu fyzického kyvadla je dána vzorcem

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}}\left(1 + \frac{1}{4}\sin^2\frac{\alpha}{2}\right)\,, \tag{1}$$

kde I je moment setrvačnosti kyvadla vzhledem k ose otáčení, m hmotnost kyvadla, d vzdálenost těžiště od osy otáčení, α je maximální úhlová výchylka těžiště z rovnovážné polohy a g je hledané místní zrychlení. Z této rovnice vychází následující model.

Matematické kyvadlo je idealizace fyzického kyvadla, kdy je předpokládáno, že máme nehmotnou nit, na které je zavěšen hmotný bod, který vykonává periodický pohyb. Moment setrvačnosti hmotného bodu je zde dán vztahem

$$I = ml^2\,, \tag{2}$$

kde m je hmotnost bodu a l je délka niti. Pokud předpokládáme, že se kyvadlo pohybuje v malých výchylkách, můžeme člen $(1/4)\cdot\sin^2(\alpha/2)$ ze vzorce (1) zanedbat. Úpravou pak získáváme vztah pro závislost místního gravitačního zrychlení g na periodě T

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}\,. \tag{3}$$

Pokud chceme dosáhnout přesnějších výsledků, musíme hmotný bod nahradit kuličkou. Tím se změní moment setrvačnosti. V našem případě je to

$$I = \frac{2}{5}mr^2 + ml^2\,, \tag{4}$$

přičemž m rozumíme hmotnost kuličky, r je poloměr kuličky a l je délka závěsu.

Při měření jsme změřili hmotnost kuličky $m = (278{,}7 \pm 0{,}1)\,\mathrm{g}$, délka závěsu $l = (998 \pm 1)\,\mathrm{mm}$. Kulička byla trochu potlučená, proto jsme ji změřili na několika místech. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 1. Průměr kuličky jsme měřili s chybou $s = \pm 0{,}2\,\mathrm{mm}$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d [mm]	40,42	39,80	39,90	40,10	40,44	40,42	40,12	40,38	39,86	40,26

Tabulka u2.5.1: Naměřené hodnoty průměru kuličky.

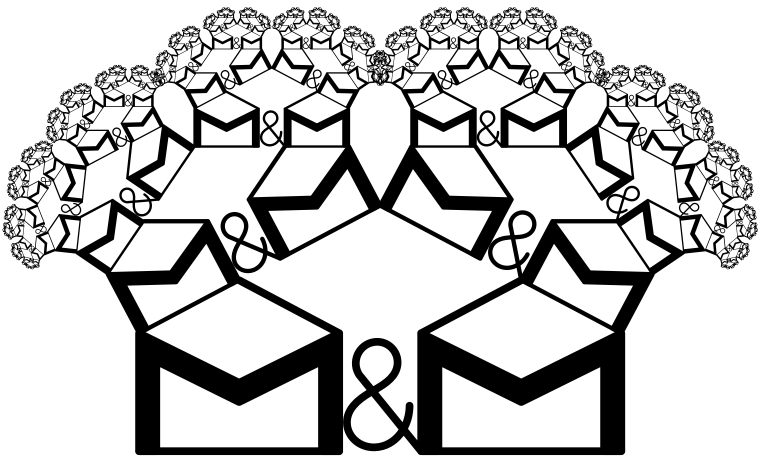
Pak jsme se pustili do měření periody. Změřili jsme dobu 10 kmitů. Data jsou v tabulce 2. Používali jsme stopky ovládané optozávorou. Měřili jsme tak s chybou $s = \pm 0{,}005\,\mathrm{s}$.

	T_{10} [s]
1	20,3821
2	20,3795
3	20,3836
4	20,3872
5	20,3843
6	20,3820
7	20,4251
8	20,3820
9	20,3840
10	20,3828

Tabulka u2.5.2: Naměřené doba 10 period matematického kyvadla.

Z naměřených dat určete tíhové zrychlení a vypočítejte chybu měření. Srovnejte výpočet pomocí vzorce (3) s případem, že bereme moment setrvačnosti ve tvaru (4). Pokud byste nechtěli jen zpracovávat tato data, můžete provést vlastní měření, pak vás odměníme bonusovými body.

Tyto data byla naměřena ve fyzikálním praktiku I na MFF UK. V případě zájmu naleznete celý studijní text k této úloze na adrese `http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_121.pdf`.



Adresa redakce:

M&M, OVVP, UK MFF
Ke Karlovu 3
121 16 Praha 2

Telefon: +420 221 911 235
E-mail: `MaM@atrey.karlin.mff.cuni.cz`
WWW: `http://mam.mff.cuni.cz`

Časopis M&M je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci Univerzity Karlovy, Matematicko-fyzikální fakulty a vydáván za podpory středočeské pobočky Jednoty českých matematiků a fyziků.