

FYZIKÁLNÍ SEKCE

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně

KORESPONDENČNÍ SEMINÁŘ Z FYZIKY

5. ročník — 1998/1999

Vzorová řešení 4. série úloh
(25 bodů)

Vzorové řešení úlohy č.1 (8 bodů)

Gravitace bez legrace

a) „Umělé gravitační pole“ lze vytvořit zrychlením kosmické lodi. Prakticky nejvýhodnější způsob spočívá v roztočení lodi – zpravidla válcového tvaru – kolem její osy. Na hmotný bod o hmotnosti m působí (kromě sil vzájemného působení s okolními hmotnými objekty) také síla setrvačná odstředivá, která má původ v neinerciálnosti vztahné soustavy spojené s lodí. Velikost této síly je

$$F_{\text{so}} = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r,$$

kde ω je úhlová rychlost lodi, T doba její rotace a r vzdálenost hmotného bodu od osy otáčení. V důsledku působení setrvačné síly má kosmonaut dojem, že je tlačěn k „podlaze“ – t.j. k místu, na kterém stojí – stejně jako kdyby se nacházel v gravitačním poli. Vzniklé „umělé gravitační pole“, tj. pole setrvačné síly, je válcově symetrické a jeho účinky narůstají se zvyšující se vzdáleností od osy rotace.

Někteří z vás generovali „umělé homogenní gravitační pole“ neustálým zrychlováním (resp. zpomalováním) translačního pohybu lodi. Řešení je v principu správné, ale není energeticky výhodné: motory lodi by totiž musely být v chodu po celou dobu letu.

b) Stavem beztíže se obvykle označuje situace, kdy je gravitační síla působící na hmotný bod kompenzována silou setrvačnou. Tento stav lze na Zemi zažít např. ve výtahu, který se utrhne.

Na oběžné dráze bude náraz do stěny bolet kosmonauta jako na Zemi, neboť jeho setrvačná hmotnost se nemění a nijak nesouvisí s jeho subjektivními pocity „lehkosti“.

c) Pro jednoduchost považujme kyvadlo hodin za matematické kyvadlo. Pro periodu jeho malých kmitů lze odvodit vztah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\vec{g}}},$$

kde l je délka kyvadla a $\vec{g}$ je vektorový součet gravitačního a unášivého zrychlení. Ve stavu beztíže je $\vec{g} = \vec{0}$, perioda kmitů je nekonečně velká a kyvadlové hodiny tedy „stojí“.

Druhý způsob, jak určit hmotnost předmětů, například, lze, musíme ovšem znát tuhost

Řada řešitelů vymyslela i jiné originální metody určování hmotnosti m neznámého tělesa, které vychází z druhého Newtonova zákona. Vyjádříme-li z něj zrychlení tělesa a , dostaneme vztah

$$a = \frac{F_m}{m},$$

kde F_m je velikost síly, která uděluje tělesu o hmotnosti m zrychlení a . Pružinové váhy použijeme jako siloměr, zrychlení a můžeme vytvořit rotačním nebo translačním pohybem tělesa. Udělíme-li stejné zrychlení tělesu známé hmotnosti m' , vypočteme hmotnost m podle vztahu

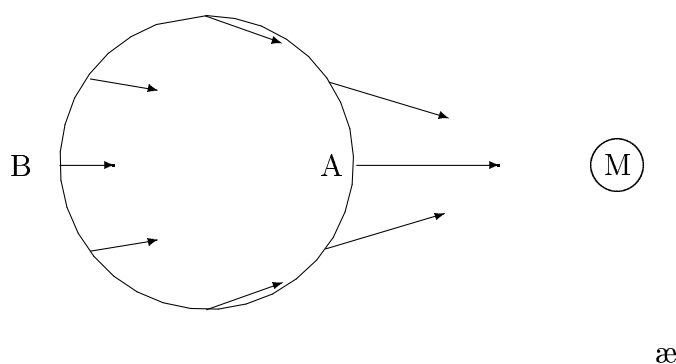
$$m = \frac{F_m}{F_{m'}} m'.$$

Vzorové řešení úlohy č.2 (4 body)

Času je málo a voda stoupá

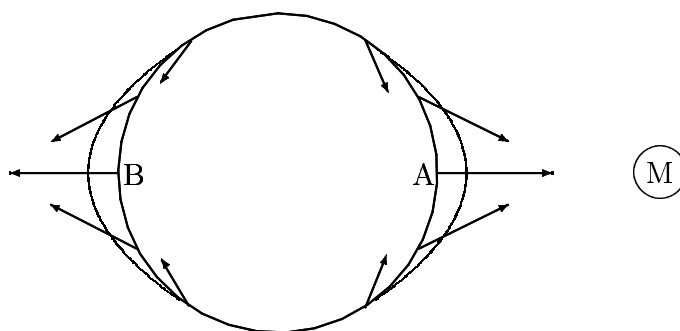
Slapové jevy (příliv a odliv) vznikají především vlivem Měsíce.

Vysvětlení přílivu a odlivu je následující: Uvažujme pro jednoduchost o Zemi jako o tuhé kouli, jejíž tvar se vlivem gravitačního působení Měsíce nemění, tato koule nechť je pokryta vodní vrstvou. Je zřejmé, že gravitační síla, kterou působí Měsíc na nejbližší objemový element kapaliny na Zemi (bod A – viz Obr. 1) je větší než tatáž síla působící na nejvzdálenější element (bod B).



Obr.1

Vzhledem k tomu, že Země a Měsíc obíhají po přibližně kružnicové trajektorii kolem společného těžiště, je vztažná soustava spojená se Zemí neinerciální, a proto musíme do úvah zahrnout i síly setrvačné odstředivé. Výsledná síla působící na objemový element kapaliny na povrchu Země je tedy součtem gravitační síly Země, síly vztlačové, gravitační síly Měsíce a síly setrvačné odstředivé (jednotlivé výslednice gravitační síly Měsíce a síly setrvačné odstředivé jsou schematicky znázorněny na obr. 2). Vznikají proto dvě vzedmutí vodní hladiny, jedno směrem k Měsíci, druhé ve směru opačném.



Obr.2

Doba mezi dvěma po sobě následujícími vzedmutími vodní hladiny je rovna polovině doby oběhu Měsíce kolem Země (24 h 53 min), tedy přibližně 12,5 h. Podobně jako Měsíc, také Slunce způsobuje na Zemi příliv a odliv, ale jeho účinek je mnohem menší.

Vysvětlení slapových jevů v novinách je – vzhledem až k nezdravé snaze autorů o maximální zjednodušení situace – nejednoznačné a nepřesné: do očí bije především odečítání dvou různých fyzikálních veličin: přitažlivé, resp. odstředivé síly a gravitačního zrychlení.

Vzorové řešení úlohy č.3 (5 bodů)

Prázdnno, prázdnno bez hranic

a) Laserové paprsky ve vakuu vidět nelze, neboť v něm nejsou přítomna žádná rozptylová centra. Jedinou výjimkou je situace, kdy paprsek míří přímo do oka a jeho vlnová délka leží ve viditelné oblasti spektra.

b) Zvuk se šíří pouze hmotným prostředím (plyny, kapaliny, pevné látky), a proto ve vakuu žádný výbuch uslyšet nemůžeme. Ze stejného důvodu nevzniká ani rázová vlna, naši loď by tedy mohly poškodit snad jen pohybující se části explodujícího korábu.

c) **Asteroid** je malé těleso sluneční soustavy, obíhající po samostatné dráze okolo Slunce. Většina asteroidů se pohybuje mezi drahami Marsu a Jupitera.

Meteoroid je malé těleso s oběžnou drahou směřující k Zemi. Tyto objekty, které pocházejí z komet nebo asteroidů, se mohou stát meteorem a následně meteoritem.

Meteor je jasná zářivá stopa na obloze – tzv. „padající hvězda“. Vzniká, když meteoroid vstoupí s vysokou rychlostí z meziplanetárního prostoru do atmosféry Země, zbrzdí se a rozžhaví.

Bolid je mimořádně jasný meteor, který září více než planeta Venuše; bývá doprovázen i zvukovými efekty. Objekty mající za následek vznik bolidů pocházejí převážně z asteroidů.

Meteorit je meteoroid, který „přežije“ průlet atmosférou a dopadne až na zemský povrch.

Dočervena mohou být rozžhaveny meteor a bolid, protože se při průletu atmosférou Země třením o ni brzdí a zahřívají.

d) K výstupu do otevřeného vesmíru je nutné mít na sobě neprodyšný dobře tepelně izolující skafandr, nádrže s kyslíkem a pro pocit jistoty a bezpečí manévrovací trysky, případně být uvázan lanem k lodi. Pro samotný výstup je důležité procházet přetlakovou komorou, protože přímý výstup do vakua by vedl k úniku vzduchu z kosmické lodi.

e) Manévrování pomocí stabilizačních křidélek je možné pouze v odporovém prostředí (např. voda, vzduch). Ve vakuu se korekce dráhy uskutečňuje pomocí raketových motorků, fyzikální podstata jejich činnosti je založena na 3. Newtonově zákonu.

Vzorové řešení úlohy č.4 (8 bodů)

Co musí ustát akční hrdina

a) V uvedených filmových scénách režisér zcela ignoroval zákon zachování hybnosti.

b) Vyjdeme z již zmíněného zákona zachování hybnosti, který má v našem případě tvar

$$mv = (M + m) V, \quad (1)$$

kde $m = 0,02 \text{ kg}$ je hmotnost střely, $v = 150 \text{ m.s}^{-1}$ je její rychlost (pro jednoduchost zanedbáváme změnu rychlosti střely vlivem gravitačního pole a odporu prostředí), $M = 80 \text{ kg}$ je hmotnost pytle s pískem a V rychlost soustavy pytel – střela bezprostředně po zásahu.

K výpočtu výšky h , do níž vystoupí pytel se střelou, užijeme zákon zachování mechanické energie

$$\frac{1}{2}(M+m)V^2 = (M+m)gh,$$

kde $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ je tíhové zrychlení. Po dosazení za V ze zákona zachování hybnosti (1) a vyjádření dostaneme

$$h = \frac{1}{2g} \left(\frac{mv}{M+m} \right)^2 \doteq 0,07 \text{ mm}.$$

Vidíme, že osmdesátikilový pytel se po zásahu téměř nepohne, a proto je nad slunce jasné, že lidská oběť srovnatelné hmotnosti nemůže odletět několik metrů dozadu.

Podobně není v silách smrtelníka udržet střelící samopal v jedné ruce: ze zákona zachování hybnosti totiž snadno vypočteme, že téměř tříkilový samopal se dá po výstřelu do pohybu rychlostí přibližně 1 m.s^{-1} .

c) Je velmi pravděpodobné, že rychlost autobusu V je vyšší než rychlost v , s jakou hrdina skákal. Krátce po dopadu skokana na střechu autobusu jsou již díky tření jeho nohy vzhledem k vozidlu v klidu, zatímco tělo se vzhledem k autobusu nadále pohybuje rychlostí $\vec{v} - \vec{V}$, proto hrdina padá vzad. Při skoku na protijedoucí autobus by si hrdina naopak rozbil nos.

d) Člověk, který chce bezpečně vystoupit, by měl počkat, až vlak zastaví. Pokud čekat nehodlá, měl by skákat po směru jízdy. V tom případě díky setrvačnosti běží ve směru jízdy vlaku, což za příznivých okolností (ne příliš velká rychlost vlaku, fyzicky zdatný hrdina, vhodné místo dopadu) může přežít bez újmy na zdraví (vysvětlení je stejné jako v předešlé úloze). Vyskočí-li proti směru jízdy vlaku, padá hrdina nekontrolovaně na záda a v lepším případě končí na anesteziologicko-resuscitačním oddělení nejbližší nemocnice.

æ

Vzorové řešení úlohy č.5 - prémiová

Ať je Síla s Vámi

Ve filmové trilogii Hvězdné války, stejně jako ve většině sci-fi filmů s podobnou tematikou, je možné nalézt celou řadu scén, které nerespektují ani základní fyzikální zákony. Vyšší počet chyb se obvykle vyskytuje ve scénách zobrazujících pohyb lodí v kosmickém prostoru a jejich vzájemná střetnutí.

I ve Hvězdných válkách se vesmírné lodě přesunují z jednoho konce galaxie na druhý skokem v hyperprostoru prostřednictvím hyperpohonu. Proti tomu lze těžko něco namíchat, protože se jedná o čistou fantazii. Teorie relativity připouští jako maximální možnou rychlost světla a ani té nemůže hmotné těleso prakticky dosáhnout. Blíží-li se rychlost hmotného tělesa rychlosti světla, roste jeho hmotnost a blíží v limitě k nekonečnu. Tudíž i energie potřebná k jejímu dosažení by musela být nekonečně velká. S rychlostí blízkou rychlosti světla jsou spojeny relativistické efekty, které však ve filmu zůstaly zanedbány. Díky dilataci času by se významně měnil věkový rozdíl mezi postavami příběhu. Nejasný

zůstává způsob manévrování lodí, když jediné viditelné trysky se nacházejí na zadní části trupu. Stylem letu navíc nápadně připomínají proudové stíhačky.

K nejznámějším vesmírným bojovým scénám patří útok na Hvězdu smrti. Lodě po sobě střílí z laserů přerušovanými dávkami, které jsou nejen vidět a slyšet, ale navíc se střely pohybují tak pomalu, že se jim piloti stihnou vyhnout.

Originální rekvizitou Hvězdných válek je světelný meč, používaný rytíři Jedi při vzájemných soubojích. Pokud by byla jeho čepel tvořena pouze paprskem záření, těžko by mohla být omezena délkou a při zkřížení dvou čepelí by se namísto vzájemného blokování prostupovaly.

Prohřešků proti fyzikálním zákonům bychom mohli ve filmu nalézt ještě celou řadu. Spíše než neznalostí autorů jsou důsledkem snahy o vyšší atraktivitu scén. Navíc Hvězdné války jsou především pohádkou a v těch je možné všechno.

æ