

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta pedagogická
Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy

**Využití fantasy a sci-fi literatury
a filmu ve výuce fyziky**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Mgr. Ing. Jan Plzák

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Karel Rauner

Plzeň, 2016

Abstrakt

Práce se zabývá fyzikálním rozbořem literárních a filmových sci-fi ukázek. Součástí práce jsou prezentace využitelné v hodinách fyziky na středních školách. Pro účely výběru a zaměření prezentací byl proveden dotazníkový průzkum zjišťující povědomí o sci-fi filmech, seriálech a literatuře. Dále v rámci práce bylo provedeno šetření zabývající se dosavadním využitím sci-fi v učebnicích fyziky a byly popsány možnosti klasických výukových metod. V závěru práce je shrnut vliv prezentací na výkony žáků a je zde proveden průzkum pojmů science fiction a fantasy.

Klíčová slova

dotazníkové šetření, fantasy, fikce, film, fyzika, klasické výukové metody, literatura, sci-fi, science fiction, učebnice, výuka

Abstrakt

The dissertation is dealing with physical analysis of literary and film sci-fi extracts. It includes presentation usable in the science lessons at secondary schools. The survey mapping awareness of sci-fi films and literature was carried out for the purpose of choosing and focusing the presentations. Further investigation dealing with existing usage of sci-fi in science textbooks was carried out and there were described classical ways of educational methods. In the conclusion of the dissertation the effect of the presentations on the students' results is summarised and survey on terms of science fiction and fantasy is carried out.

Key words

survey, fantasy, fiction, film, classical educational methods, literature, sci-fi, science fiction, textbook, education

Abstrakt

Die Doktorarbeit beschäftigt sich mit einer physikalischen Analyse der literarischen und Sci-fi Filmpassagen. Ein Bestandteil der Arbeit sind die Präsentationen, die man in den Physikunterrichtsstunden an den Mittelschulen (an den mittleren Fachschulen) ausnutzt. Zum Zwecke der Auswahl und der Zielen der Präsentationen wurde eine Fragenbogenumfrage über das Sci-fi Filmen, Serien und Literatur durchgeführt. Weiter wurde eine Untersuchung im Rahmen der Arbeit durchgeführt, die sollte zeigen, wie die bisherige Nutzung von Sci-fi in den Lehrbüchern genutzt wird. Die Möglichkeiten der klassischen Unterrichtsmethoden wurden auch beschrieben. Im Schluss der Arbeit wird der Präsentationseinfluss auf die Schülerausübung zusammengefasst. Es wird auch eine Umfrage über Begriffe von Science Fiction und Fantasie durchgeführt.

Schlüsselwörter

Umfrage, Fantasie, Fiktion, Film, Physik, klassische Unterrichtsmethoden, Literatur, Sci-fi, Science Fiction, Lehrbücher, Unterricht

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající z platných zákonů.

V Plzni 1.1.2016,

.....
vlastnoruční podpis

Rád bych poděkoval školiteli doc. Dr. Ing. Karlu Raunerovi, který mi během magisterského a doktorandského studia byl vzorem pedagogického ideálu. Děkuji též za mnoho a mnoho připomínek a rad, díky nimž tento text vznikl v této podobě.

Poděkování patří také mé kolegyni Mgr. Petře Heřmanové a dalším kolegům na VOŠ a SPŠE v Plzni, kteří byli ochotni otestovat v hodinách fyziky některé prezentace a následně je připomínkovat.

Děkuji též Mgr. Zdeňce Novákové (Kolářové) a Ing. Františku Novákovi za jejich podporu v prvopočátcích této práce, neboť spoustu zpracovaných nápadů jsem testoval nejdříve na nich.

Poděkování patří také všem studentům a ostatním lidem, kteří věnovali svůj čas na vyplnění dotazníků.

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam filmů	8
Seznam tabulek	10
Úvod	11
1 Vymezení tématu disertační práce a cíle disertační práce	12
2 Pedagogicko-psychologická část	14
2.1 Klíčové kompetence (zásadní zdatnosti)	14
2.2 Problémy a specifika výuky fyziky v dnešní době	15
2.3 Metody výuky fyziky	18
2.3.1 Klasické výukové metody	19
2.3.2 Aktivizující metody výuky	21
2.3.3 Komplexní výukové metody	23
2.4 Psychologické aspekty fantasy a sci-fi literatury	27
3 Dosavadní stav využití sci-fi	30
3.1 Historie sci-fi a fantasy	30
3.1.1 Historie žánru sci-fi	30
3.1.2 Historie žánru fantasy	31
3.1.3 Definice a dělení pojmů sci-fi a fantasy	32
3.1.4 Vybraní autoři a některá díla SF	32
3.2 Přehled využití sci-fi a fantasy pro výuku fyziky	40
3.2.1 Internetové zdroje zabývající se fyzikou ve sci-fi a fantasy filmech či literatuře	40
3.2.2 Využití sci-fi a fantasy v učebnicích fyziky	43
4 Statistické vyhodnocení dotazníkových šetření	47
4.1 Předvýzkum	48
4.1.1 Závěry předvýzkumu	50
4.2 Mapování stupně znalostí respondentů	51
4.2.1 Metody zpracování a kategorizování dotazníků	51
4.2.2 Hypotézy	52
4.2.3 Základní charakteristika souboru	52
4.2.4 Analýza dotazníků pomocí kontingenčních tabulek	66
4.2.5 Závěry dotazníkového šetření	73

5	Zpracované sci-fi a fantasy ukázky	75
5.1	Řazení ukázek a obecný popis	75
5.2	Mechanika	78
5.2.1	Pohyb rovnoměrný po kružnici – pohyb Země kolem Slunce . . .	78
5.2.2	Newtonovy pohybové zákony – hybnost	82
5.2.3	Síly v přírodě – odstředivá síla	88
5.2.4	Mechanická práce a energie – zákon zachování mechanické energie a zákon zachování hybnosti	99
5.2.5	Newtonův gravitační zákon – antigravitace*	102
5.2.6	Newtonův gravitační zákon – pohyb rakety v nehomogenním gravitačním poli Země a Měsíce*	111
5.2.7	Mechanika tuhého tělesa – moment hybnosti*	119
5.2.8	Mechanika tuhého tělesa – moment setrvačnosti	126
5.2.9	Mechanika tekutin – tlak	130
5.3	Molekulová fyzika a termika	133
5.3.1	Vlastnosti látek z hlediska molekulové fyziky – délková teplotní roztlačnost	133
5.3.2	Stavové změny ideálního plynu – stavová rovnice ideálního plynu	139
5.3.3	Přeměny skupenství látek – vypařování	145
5.4	Mechanické kmitání a vlnění	148
5.4.1	Mechanické kmitání – matematické a fyzikální kyvadlo	148
5.5	Astrofyzika	153
5.5.1	Slunce a hvězdy – planeta v binárním hvězdném systému	153
5.5.2	Druhy hvězd a gravitační intenzita – gravitační síla v blízkosti hmotných objektů	163
6	Další provedená šetření	170
6.1	Explorace pojmů science fiction a fantasy	170
6.2	Zhodnocení vlivu prezentací na výkony žáků	171
6.3	Dotazníkový průzkum oblíbenosti prezentací	173
	Závěr	176
	Literatura	177
	Přílohy	

Seznam obrázků

4.1	Odpovědi na testovací otázky (Plzeň)	55
4.2	Odpovědi na testovací otázky (Erlangen)	56
4.3	Box plot (Plzeň)	58
4.4	Box plot (Erlangen)	58
5.1	Ilustrace k ukázce z knihy <i>STRONCIUM</i>	84
5.2	Trajektorie svislého vrhu a volného pádu, varianta a) na povrchu	93
5.3	Trajektorie svislého vrhu a volného pádu, varianta a) vně lodi	94
5.4	Trajektorie svislého vrhu a volného pádu, varianta b) na povrchu	95
5.5	Trajektorie svislého vrhu a volného pádu, varianta b) vně lodi	95
5.6	Změna tlaku vzduchu na tenké válcové výseči	96
5.7	Znázornění úseče kruhu	105
5.8	Úseč kruhu	106
5.9	Závislost intenzity gravitačního pole na výšce nad středem listu kavoritinu	108
5.10	Kavoritin jako zdroj energie	109
5.11	Závislost rychlosti rakety na vzdálenosti od Měsíce	117
5.12	Ilustrace k ukázce z knihy <i>Zločin na Merkuru</i>	134
5.13	Závislost objemu ryby na výšce nad zemí	143
5.14	Kyvadlo v krajní a v rovnovážné poloze	150
5.15	Mapa Helikonie	155
5.16	Dvě tělesa	158

Seznam filmů

5.1	Ukázka ze seriálu Doktor Who (S01E01)	79
5.2	Ukázka z filmu „Total Recall“ z roku 2013	84
5.3	Ukázka z filmu „Superman Returns“ z roku 2006	87
5.4	Ukázka ze seriálu „Stav Beztíže“ (S01E04)	88
5.5	Ukázka ze seriálu „Babylon 5“ (S02E22)	90
5.6	Ukázka z filmu „2001: Vesmírná odysea“	91
5.7	Ukázka z filmu „Mission To Mars“	91
5.8	Ukázka z filmu „Riddick: Kronika temna“	99
5.9	Ukázka z filmu „First Men in the Moon“	102
5.10	Ukázka z filmu „First Men in the Moon“	103
5.11	Ukázka z filmu „Wall-E“	126
5.12	Ukázka ze seriálu „Doctor Who“ (A Christmas Carol S05E14)	140
5.13	Ukázka z filmu „Battleship“	145
5.14	Ukázka z filmu „MacGyver“ (S05E01)	149

Seznam tabulek

4.1	Hodnoty procentuální úspěšnosti studentů z roku 1978 a z roku 1995	48
4.2	Nejčastější odpovědi na otázku č. 8	50
4.3	Základní charakteristika dotazníků získaných v Plzni	53
4.4	Základní charakteristika dotazníků získaných v Erlangenu	54
4.5	Odpovědi na otázku X a XI v Plzni	54
4.6	Odpovědi na otázku X a XI v Erlangenu	54
4.7	Odpovědi na otázky z dotazníkového šetření	57
4.8	Oblíbenost a sledovanost vybraných filmů v Plzni	59
4.9	Oblíbenost a sledovanost vybraných filmů v Erlangenu	60
4.10	Oblíbenost a sledovanost vybraných seriálů či n-logií v Plzni	61
4.11	Oblíbenost a sledovanost vybraných seriálů či n-logií v Erlangenu	62
4.12	Oblíbenost a čtenost vybraných autorů v Plzni	63
4.13	Oblíbenost a čtenost vybraných autorů v Erlangenu	64
4.14	Kategorie odpovědí na otázku, co je to bod	64
4.15	Kategorie odpovědí na otázku, co je to čas	65
4.16	Kategorie odpovědí na otázku, co je to prostor	65
4.17	Kategorie odpovědí na otázku, co je to nicota	65
4.18	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou I. a III.	67
4.19	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou I. a V.	67
4.20	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou I. a XIII.	68
4.21	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou II. a III.	68
4.22	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou II. a IV.	69
4.23	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou II. a VI.	69
4.24	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou II. a IX.	70
4.25	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou II. a XII.	70
4.26	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou II. a XIII.	70
4.27	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou IX. a VIII.	71
4.28	Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou IX. a III.	71
4.29	Kontingenční tabulka, otázka II. a druhá část dotazníku	72
4.30	Kontingenční tabulka, otázka III. a druhá část dotazníku	72
5.1	Beretta 92 a náboj ráže 9 mm Luger	85
5.2	Vlastnosti Měsíce a Země	112
5.3	Hmotnosti materiálů použitých na stavbu rakety	113
5.4	Řetězová pila Alpina	120
5.5	Údaje o pevném disku a raketě <i>LONGIN</i>	121
5.6	Vlastnosti Merkuru	135
5.7	Vlastnosti různých slitin	135
5.8	Hodnoty podobné Helikonii, Batalixu a Freyru použitelné pro applet	161

6.1	Kontingenční tabulka, vztah klasifikační známky	172
6.2	Kontingenční tabulka, otázka číslo 14	172
6.3	Kontingenční tabulka, otázka číslo 15	173
6.4	Kontingenční tabulka, otázka číslo 13	173
6.5	Dotazníkový průzkum oblíbenosti prezentací	174

Úvod

V pedagogické praxi se většina učitelů velmi často setkává s nezájmem studentů o studium přírodních věd. Tento trend není jen v České republice, ale na celém světě. Jako jedno z možných řešení zvrátit tento trend je pokusit se zvýšit atraktivitu hodin fyziky na základních a středních školách.

Vzhledem k tomu, že studenti věnují sledování filmů značný objem svého volného času, jakož i čtení fantasy a sci-fi literatury, nabízí se využít právě tento jejich zájem ve výuce fyziky, okrajově pak i matematiky či jiných technických předmětů. Fyzikálním rozбором některých situací je možné vytvořit motivační prezentace či problémové úlohy.

Před vlastní tvorbou této práce bylo provedeno dotazníkové šetření především na Vyšší odborné škole a Střední průmyslové škole elektrotechnické v Plzni (dále VOŠ a SPŠE) a dále pak na Friedrich–Alexander–Universität v Erlangenu. Šetření odhalilo několik nepříjemných fakt. Za prvé, studenti obecně velmi neradi čtou, proto předpokládat u studentů nějaké rozsáhlejší znalosti literatury bude dosti problematické. Druhým faktem je, že filmy, které studenti znají, jsou především ty, které se vysílají v televizi.

Při zjišťování používání učebnic fyziky, které využívají prvků sci-fi a fantasy literatury a filmu v České republice i v zahraničí, se bohužel nepodařilo najít žádnou učebnici, která by se ve větším měřítku tímto tématem zabývala. Je samozřejmě několik učebnic, které v několika málo případech, a to spíše v žertu, použijí příklad inspirovaný sci-fi literaturou či filmem. Žádná se však tomuto nevěnuje rozsáhleji.

V této práci je možno nalézt především fyzikální rozборы některých vybraných filmů. K nim je přidán popis možného využití v hodinách fyziky a didaktický rozbor. Texty jsou řazeny podle tematických celků. Některé části samozřejmě zapadají hned do několika tematických celků, tak jak to bývá časté u praktických problémů.

Kapitola 1

Vymezení tématu disertační práce a cíle disertační práce

Hlavním tématem této práce je snaha o výuku fyziky zajímavějším způsobem. Lze předpokládat, že student získá k technickým předmětům lepší vztah, bude-li výuka sledovat jeho vlastní zájmy a koníčky. Díky mnoha filmům, které jsou v dnešní době předkládány divákům, lze studentům poutavě ukázat, že někteří autoři sci-fi neberou v úvahu základní přírodní zákony, případně ukázat někdy podivné (a někdy správné) závěry vyplývající z těchto zákonů.

Cílem práce je vytvořit soubor prezentací či přednášek, které by vhodně a poutavě doplnily některé vybrané kapitoly z učebnic fyziky. Původní myšlenkou bylo vytvoření školního vzdělávacího plánu, který by byl založen na ukázkách sci-fi filmů, a látka probíraná v hodinách fyziky by byla vyvozována právě z těchto ukázek a doplněna potřebnou teorií. Nakonec od tohoto plánu bylo upuštěno, protože sehnat dostatečné množství filmových ukázek pokrývajících celou osnovu učiva bylo časově příliš náročné.

V průběhu dotazníkových šetření bylo též zjištěno, že ukázky z literárních děl bude velmi problematické využít. Studenti v dnešní době velmi neradi čtou a raději pasivně sledují multimediální díla. Proto jsou v práci upřednostňovány filmové ukázky před literárními. Důvodem k tomuto výběru je i fakt, že je mnohem jednodušší do prezentací vložit filmovou ukázkou, než citovat část literárního díla.

Dále byl záběr práce zúžen především na sci-fi žánr. Původním záměrem bylo zpracování i fantasy žánru, bohužel se ukázalo, že ve fantasy literatuře či filmu je velmi málo použitelných ukázek. Autoři fantasy příběhů zřejmě velmi neradi popisují zákony svých světů. Jistě by se v některých dílech zajímavé ukázky našly, bohužel při orientačním průzkumu nebyli ani známí fanouškové tohoto žánru, to jest Filip Růžička, Ivan Víšek, DiS., ani bratři Karel a Lukáš Melkovi, schopni si vzpomenout na nějaké fyzikální zajímavosti z těchto děl.

Jediné, co se podařilo ve fantasy žánru během orientačního průzkumu najít, je článek popisující rozbor gravitačního působení na Zeměploše od Terryho Pratcheta, který byl publikován v časopise „Školská fyzika“ [1], autorem je PhDr. Václav Kohout, Ph.D.

Jedním z dalších cílů práce byla snaha o zmapování povědomí o žánru sci-fi a fantasy. Mapování bylo provedeno pomocí dotazníkového šetření a podrobněji je zpracováno v kapitole 4. V dotazníkovém šetření bylo nad rámec pouhého zmapování znalostí provedeno i zmapování, do jaké míry filmový průmysl ovlivňuje respondenty.

Dále byl proveden rozbor současného stavu využití sci-fi a fantasy tematiky v učebnicích fyziky. Tento cíl práce byl zpracován pouze úzce, neboť větší rešerše učebnic fyziky by rozsahem odpovídala bakalářské práci. Rozbor byl proveden jen u 26 starších učebnic fyziky a fyzikálních sbírek používaných v České republice. Nejnovější učebnice a fyzikální sbírky české ani zahraniční nebyly podrobně rozebírány.

Kapitola 2

Pedagogicko-psychologická část

2.1 Klíčové kompetence (zásadní zdatnosti)

Čím dál více je možné se ve výuce setkat s pojmem „klíčové kompetence“ a čím více se s tímto pojmem setkáváme, tím více je jeho význam zavádějící. Dle významu tohoto pojmu by měl žák, který se něčemu novému učí, získávat jakési pravomoci či oprávnění k učení. Pojem je to nevhodný, žák by ve skutečnosti měl spíše získávat jisté „zdatnosti“ ve vědomostech, dovednostech, schopnostech, postojích a hodnotách. Tento pojem byl zaveden skupinou odborníků zabývajících se jedním ze strategických cílů lisabonského procesu v rámci Evropské komise a právě oni doporučili jednoznačné užívání pojmu „key competencies“ (klíčové kompetence) v celé Evropské unii, který by označoval soubor vědomostí, dovedností a postojů. Bohužel překladem tohoto pojmu do češtiny vznikl pro české pedagogy dosti nevhodný pojem dodnes zastřený nepochopením. Pro potřeby této práce budu raději užívat významově vhodnějšího překladu, a to „zásadní zdatnosti“.

Mezi osm klíčových kompetencí (zásadních zdatností), které jsou rozpracovány v rámcových vzdělávacích plánech (zkratkou jest RVP), patří:

1. Kompetence (zdatnost) k učení
2. Kompetence (zdatnost) k řešení problémů
3. Kompetence (zdatnost) komunikativní
4. Kompetence (zdatnost) sociální a personální
5. Kompetence (zdatnost) občanská
6. Kompetence (zdatnost) k pracovnímu uplatnění a podnikatelským aktivitám
7. Kompetence (zdatnost) matematická
8. Kompetence (zdatnost) využívat prostředky informačních a komunikačních technologií a pracovat s informacemi

Všeobecně známé definice jednotlivých zdatností zde nehledejte, neboť zde bude soustředěn zájem pouze na ty, jež mají co do činění s touto prací, ty lze heslovitě shrnout takto:

1. Zdatnost v matematické formulaci problémů.
2. Zdatnost při řešení problémů matematickými postupy.
3. Zdatnost v matematických úpravách rovnic.
4. Zdatnost ve využití informačních technologií.
5. Zdatnost v práci s informacemi.
6. Zdatnost ve vytváření a využívání fyzikálních modelů.
7. Zdatnost v hledání strategií při řešení problémových situací.

Výsledkem a snahou rámcových vzdělávacích plánů je shrnutí toho, co by vlastně měl žák umět dělat. Ve své podstatě význam kompetencí (zdatností) lze shrnout následujícími větami: Žák operuje s obecně užívanými termíny, znaky a symboly. Žák rozpozná a pochopí problém, nachází shodné, podobné a odlišné znaky či informace. Žák přemýšlí o nesrovnalostech a jejich příčinách. Žák samostatně volí způsoby řešení problémů. Žák užívá při řešení problémů logicky konzistentní postupy a využívá získané vědomosti k objevování různých variant řešení. Žák se nenechá odradit nezdarem a vytrvale hledá konečné řešení problému. Žák naslouchá diskusi druhých a účinně se zapojuje do diskuse, předkládá a obhajuje svůj názor a vhodně argumentuje. Žák poznává smysl a cíl učení.

2.2 Problémy a specifika výuky fyziky v dnešní době

Než začneme rozebírat různé metody výuky fyziky a jejich vhodnost, měli bychom nejdříve popsat cíle výuky fyziky a problematiku jejich dosahování.

Před zhruba 50 lety bylo cílem středoškolské fyziky připravit studenty pro jejich následné studium na vysoké škole a dát jim dobré předpoklady pro porozumění fyzikální vědě. Později se tento základní cíl změnil na požadavek připravit (již jen) žáky na pochopení fyzikálního obrazu světa, to jest umožnit jim pochopení jednoduchých fyzikálních modelů. Dnes nás velké množství informací a nových poznatků nutí naučit žáky tvořivým způsobem získávat fyzikální poznatky a vhodně je strukturovat. Následně je tvořivě využívat při řešení problémových situací. V podstatě se dnes snažíme plnit koncepci programu informační gramotnosti dle usnesení vlády ČR č. 265 ze dne 24. 3. 2004. Tímto programem je míněna schopnost uvědomit si a formulovat své informační potřeby, orientovat se v informačních zdrojích, vyhledat informace prostřednictvím informačních a komunikačních technologií. Dále umět tyto informace vyhodnotit a využít při řešení konkrétní životní situace či odborného úkolu.

Na tomto místě je příhodné zmínit Moorův zákon. Dle jeho přeneseného významu se udává, že přibližně každých 6 let se zdvojnásobuje množství fyzikálních poznatků.

Je proto velmi jasné, že do budoucna bude umění vyhledávat a zpracovávat informace velmi ceněné.

Lze říci, že cílem výuky fyziky na střední škole by dnes měla být právě schopnost vyhledávat, zpracovávat a kreativně využívat informace. Bohužel tohoto cíle nelze dosáhnout, aniž by žák měl již vytvořené vlastní koncepty a struktury fyzikálního myšlení. Je sice hezké si představovat, jak žáky naučíme vyhledávat informace a zpracovávat je, ale bez nutných základních znalostí, které žák většinou nemá, toho nedosáhneme. Po získání základních znalostí a po vytvoření konkrétních modelů, se kterými žák může začít pracovat, můžeme dále očekávat, že při konfrontaci s informacemi, které získá později, dospěje do bodu, kdy bude vlastní koncepty měnit a přetvářet je do obecnějších schémat. Možností jak toho dosáhnout je mnoho. Nejčastěji se uvádí jako nejúčinnější metoda experimentu, ta je však časově velmi náročná. Východisko z této situace lze najít v myšlenkových experimentech a rozbořem předem vhodně připravených problémových situací.

Podkladem pro myšlenkové experimenty může být například film či knižní předloha. Vhodně vybraná ukázka z filmu může také být podkladem i pro rozbor problémové situace. Je celkem jasné, že myšlenkový experiment může být odtržený od reality a lze v něm pracovat i s modely, které popírají fyzikální koncepty, ale je časově méně náročný a pro leckteré žáky pohodlnější. (Pohodlností v tomto směru je myšlena pohodlnost v myšlení.) V dnešní době je totiž velmi častým jevem nejen u dětí, ale i v dospělé populaci setkat se s velmi rozšířeným názorem, že nelze pochopit funkci všech přístrojů v domácnosti, a proto je pohodlnější se je naučit jen ovládat a nepřemýšlet o tom, jak tyto přístroje fungují. Přemíra informací ve světě kolem nás v podstatě k tomuto konzumnímu způsobu přímo vybízí. Není překvapením, že při sledování filmů divák vůbec nepřemýšlí nad nesmyslností některých scén, tím se pohodlnost v myšlení stává hlavní příčinnou problémů s vyhledáváním informací a jejich následným využitím. Žák raději informace bez přemýšlení převezme za své, než by je podrobil rozumové kritice. Následné kreativní využití nakonec zcela zavrhne pro jeho namáhavost. Obdobného efektu si všimla Maria Wimberová z Birminghamské univerzity [2], která zjistila, že lidé díky počítačům si méně pamatují.

Využijeme-li zájem žáků o sledování filmů a budeme-li s nimi následně filmy rozebírat, je velmi lehké dosáhnout obsahu kompetence (zdatnosti) pro řešení problémů. Zároveň je tak možné při myšlenkovém experimentu kontrolovat, ovlivňovat a formovat fyzikální model světa jednotlivých žáků.

Chceme-li se dále bavit o formování fyzikálního modelu světa či konceptů myšlení, je potřeba vzít na zřetel samotný proces vnímání. Vnímání se často popisuje jako součinnost analyzátorů při odrážení vnějšího světa v daném jedinci. Jeden objekt, nebo chcete-li vjem, je v mozku zpracováván tak, že se k němu přidávají vlastní zkušenosti a následně se syntézou zpracovávají jednotlivé počítky. (Opět zde nebudou popsány jednotlivé elementární pojmy, které lze snadno nalézt v knihách zabývajících se psychologií.) Za důležité je nutno považovat to, na čem tyto operace závisejí. Zde lze nalézt závislost na intenzitě podnětu, stavu analyzátorů, počtu zapojených smyslů, aktuálním stavu vnímajícího subjektu, jeho zkušenosti, motivaci a zájmu o vnímaný předmět. Intenzitu, stav analyzátorů, počet zapojených smyslů a aktuální stav vnímajícího subjektu lze v průběhu vyučovací hodiny jen těžko ovlivnit. Motivaci ovlivní především osobnost pedagoga. Zájem o vnímaný předmět však lze ovlivnit tehdy, zvolíme-li pro vnímající subjekt vhodný předmět. Podle výzkumů, které jsou popsány v kapitole

4, je nejhodnějším předmětem právě film. Dalším neméně důležitým předmětem je experiment, zde totiž subjekt zapojuje více smyslů, a tak dochází k dlouhodobějšímu zapamatování. Je zde však velmi často problém se zkušenostmi s experimentováním, neboť většina žáků sama málokdy experimentuje. Během základního vzdělávání se totiž žáci setkávají pouze s demonstracemi experimentů.

Cíle výuky fyziky také ovlivňuje samotný proces poznávání. Zde je nutno zmínit tvarové zákony vnímání, na nichž proces poznávání stojí. Ve výuce fyziky se nejčastěji uplatňují jen některé tvarové zákony, a to zákon obsažnosti, konzistentnosti, podobnosti, dále pak uplatnění funkčních vztahů a přiřazení významů, v menší míře pak zákony blízkosti, pokračování, dobrého stavu a další. Procesem poznávání bývá míněno neustálé porovnávání znaků aktuálně vnímaného objektu s jeho paměťovou reprezentací. Vyučovací proces je však v tomto ohledu trochu specifický. Ve výuce nejen fyziky je totiž žádoucí dosažení opačného efektu, a to transformovat paměťovou reprezentaci vlastních konceptů za pomoci tvarových zákonů vnímání vnímaného objektu na koncepty odpovídající znakům objektu. Tento proces je označován jako vědecké bádání, kdy je nutno vytvářet hypotézy, které následně ověřujeme. Zde se opět dostáváme k náplni kompetencí (zdatností) zavedených v rámcových vzdělávacích plánech. Nutno podotknout, že tento proces vyžaduje již vytvořené koncepty, které následně pedagog soustavnou prací s žákem přetváří do konceptů obecně platných.

Dalším velmi častým problémem při výuce fyziky, a nejen fyziky, je problematika výuky žáků se specifickými poruchami učení. Podle Národního institutu dětí a mládeže [3] je v populaci 4 – 5 % jedinců s těmito poruchami. Podle těchto stránek však pedagogové uvádějí až 20 % jedinců. Jako příčiny vzniku poruch učení se uvádí dědičnost, nepříznivý nitroděložní vývoj dítěte, komplikace při porodu a v období těsně po porodu, nepříznivý vývoj dítěte v období do jednoho roku věku a nedostatek potřebných podnětů. Vezmeme-li v úvahu příčiny vzniku poruch učení důsledkem nitroděložního vývoje, pak by vysvětlením této situace mohla být zvýšená intoxikace těhotných matek, což je velice alarmující závěr. Bohužel, příčina bude spíše na straně pedagogicko-psychologických poraden, které dělají diagnostiku těchto specifických poruch.

Rozdíly v počtech diagnostikovaných dětí se specifickými poruchami učení v jednotlivých krajích jsou dány především různými druhy diagnostických metod a různými kritérii při této diagnostice. Vizte následující citaci z „Učitelských novin“ z článku *Národního institutu dětí a mládeže* [4]

ŠVANCAR, Radmil. *Učitelské noviny: Kolik je vlastně dětí s vývojovou poruchou učení?*

« Jednotlivé pedagogicko-psychologické poradny diagnostikují vývojové poruchy učení prostřednictvím rozdílného výběru diagnostických metod, od standardních výkonových testů (WISC III) přes výkonové testy, které jsou již zastaralé (PDW) nebo nepostihují všechny složky intelektu (Raven). Ve výběru používaných specifických zkoušek se liší také speciálně pedagogická diagnostika. Některé poradny nedostatečně pracují s anamnestickými údaji, jejichž vyhodnocení je velmi důležité pro zjištění pravděpodobných příčin potíží dítěte. Některé z pedagogicko-psychologických poraden v regionech s nízkými počty žáků s vývojovými poruchami učení připouštějí existenci „tvrdších kritérií“, která zdůvodňují snahou diagnostikovat pouze žáky, u nichž závažnost postižení, jeho charakter a rozsah opravňují k zařazení do režimu speciálního vzdělávání a

k čerpání finančních prostředků. Naopak poradny v okresech s vysokými počty žáků s VPU často diagnózu „vývojové poruchy učení“ přiznávají i žákům, kterým by postačoval individuální přístup při výuce (např. žákům s nerovnoměrným intelektovým vývojem, žákům z méně podnětného prostředí apod.). »

Nutno též podotknout, že v některých pedagogicko-psychologických poradnách se častěji na přání rodičů vydává potvrzení, že žák má specifickou poruchu. Málokterý psycholog je totiž ochoten stát za svým názorem i v případech stížností na svoji práci ze strany rodičů. Často se totiž stává, že rodiče si potvrzení o specifických poruchách svých ratolestí žádají proto, aby svým dětem umožnili studium se sníženými nároky.

Z výše uvedeného je celkem jasné, že děti se specifickými poruchami učení bude v budoucnu spíše přibývat, než že by se jejich počty snižovaly, a tím bude nutné do budoucna měnit metody a cíle výuky fyziky. Byl-li dříve každý žák, který měl problémy s učením, klasifikován jako hloupý a líný, bude v budoucnu klasifikován jako žák se specifickými poruchami učení. Není však důvod kvůli těmto žákům metody výuky nějak dramaticky měnit, tyto děti pro překonání svých obtíží totiž potřebují spíše cvik než omluvy a úlevy, které jsou pedagogicko-psychologickými poradnami doporučovány. Podle psycholožky S. Hönigové je dokonce lepší zařadit děti se specifickými obtížemi do běžných škol a běžných tříd. Jak sama říká: „Konečně, v každé třídě někdo nestačí a učitel se mu musí trochu víc věnovat.“ [4]

Pro výuku fyziky na středních školách je však nejpodstatnější vliv znalostí, které si žáci přinášejí ze základních škol. Je však velmi těžké pochopit dnešní situaci, kdy se některé základní školy na jedné straně pyšní školními vzdělávacími plány, ve kterých se zaměřují na odbornosti a specializace v různých oborech, a na straně druhé rezignují na výuku žáků v devátých ročnících. V důsledku to znamená, že žáci nemají cvik ve čtení, psaní, ani kupeckých počtech a jsou tak hendikepováni v dalším procesu vzdělávání. Nejhorší je pak situace, kdy takoví žáci jsou v pedagogicko-psychologických poradnách klasifikováni jako žáci se specifickými poruchami učení, a nedivme se, že je tak klasifikují, a jejich problémy jsou pak na středních školách dále tolerovány. V tomto směru vidím velké problémy pro výuku fyziky v budoucnu. Bohužel dokud se nezlepší systém základního vzdělávání, obávám se, že k tomuto bude docházet stále častěji.

2.3 Metody výuky fyziky

Důležitými pojmy pro popis metod výuky jsou *funkce vyučovacího procesu*, *etapy vyučovacího procesu* a *taxonomie výukových cílů*. Na následujících řádcích jsou v bodech tyto pojmy popsány.

Funkce vyučovacího procesu jsou: *informativní* (předání informace), *formativní* (formuje osobnost žáka), *instrumentální* (osvojené vědomosti a dovednosti se stávají nástroji, instrumenty dalších učebních aktivit), *integrující* (spojuje všechny předešlé funkce).

Vyučovací proces lze dělit na etapy: *motivační* (příprava žáků k osvojení učiva), *expoziční* (zaměřena na vytváření a osvojování nových vědomostí a dovedností), *fixační* (upevňování a prohlubování osvojeného učiva), *verifikační* (ověřování vědomostí a dovedností žáků).

Motivační etapa se dosti často podceňuje, ale zdá se, že pro vzbuzení zájmu žáků o technické obory je nejdůležitější. Při sníženém počtu hodin se velmi často stává, že

fixační etapu pedagog často krátí na úkor expoziční etapy. Není se pak co divit, že žák si probrané učivo pamatuje jen krátce, případně nemá dostatečný cvik v používání nových konceptů.

Chceme-li nějakým způsobem uspořádat výukové cíle, velmi často hovoříme o taxonomii výukových cílů. Dle nejčastějšího dělení máme tři cíle: kognitivní podle B. S. Blooma, psychomotorické (výcvikové) podle H. Davea a afektivní podle D. B. Kratwohla.

Po tomto krátkém připomenutí se již můžeme pustit do popisu jednotlivých výukových metod. Každá metoda by měla obsahovat výše zmíněné. Výukové metody se nejčastěji dělí do tří skupin, vizte: **Klasické výukové metody**, **aktivizující metody výuky** a **komplexní výukové metody** [5].

V následujících textech se budu držet struktury prezentací vytvořených Pavlem Pecinou v rámci projektu UniEDU [6], které čerpají z knihy „Výukové metody“ [5] od autorů Josefa Maňáka a Vlastimila Švece.

2.3.1 Klasické výukové metody

Mezi klasické výukové metody patří: **metody slovní**, **metody názorně demonstrační** a **metody dovednostně–praktické**.

Metody slovní

Mezi metody slovní patří například **výklad**, **vysvětlování**, **vyprávění**, **popis**, **přednáška** nebo **práce s textem**.

Podstatou **metody výkladu** je učitelův slovní projev, který je zaměřen na prezentaci a vysvětlení nového učiva žákům. Výklad by měl být promyšlený, přiměřeně dlouhý a dostatečně názorný. Tato metoda je na středních školách nejčastější.

Metoda vysvětlování je výklad nových jevů, pojmů, souvislostí a vztahů nejčastěji na konkrétních příkladech v úzké spolupráci s žáky. Vysvětlování by mělo být srozumitelné (v návaznosti na dosavadní znalosti žáka), s důrazem na hlavní myšlenky (i za cenu zjednodušení). Látku je třeba prezentovat jako systém. Vyžaduje dokonalou znalost učiva i znalost kognitivních procesů žáků. Jedná se o náročnější formu výkladu. Metodu vysvětlování bohužel neovládá každý pedagog, je totiž velmi náročná na přípravu a výběr vhodných příkladů. Je to však metoda, která se nejvíce hodí k příkladům zpracovaným v této práci.

Metoda vyprávění umožňuje učiteli seznámit žáky s průběhem určitého konkrétního děje nebo události. Tato metoda je volnější formou výkladu. Nemá přísnou logickou strukturu. Vyprávění by mělo být barvité, dynamické, bohaté na představy a citově působivé. Do této metody výuky se nejvíce hodí vkládat historické souvislosti. Ty se však na středních školách pro nedostatek času vůbec neuvádí. V hodinách fyziky se tato metoda většinou vůbec nevyužívá. Několik příkladů v této práci umožňuje tuto metodu využít. Jsou to ty zpracované příklady, kde jsou ukázky z knih. Bohužel jsou ukázky voleny co možná nejkratší, a tak by bylo nutné si knihu nejdříve přečíst, aby vyprávění bylo bohaté a dynamické.

Popis je systematický rozbor základních, podstatných a charakteristických znaků určitého předmětu, jevu nebo etapy určitého procesu. Popis je nejčastěji používán ve spojení s vysvětlováním a názorem. Je velmi často používaný v hodinách, kdy se pedagog nechce zabývat demonstrací pokusu. Většina ukázek zpracovaných v této práci

k užití této metody přímo vybízí, protože experimentálně prokázat platnost některých dějů je většinou zcela nemožné.

Přednáška je souvislý, logicky uspořádaný výklad vědeckých pojmů a zákonitostí, náročný na abstraktní myšlení posluchačů. Používá se na vysokých školách. V relativně krátkém čase je prezentováno množství systematicky utříděného učiva. Posluchači jsou vedeni k dlouhodobému udržení pozornosti, názornému představovému myšlení a rozvoji abstraktního myšlení. Přednáška je nejvhodnější k získání cviku v naslouchání a zachycení důležitých myšlenek. Tento cvik se pak velmi hodí na vysoké škole či ve firmách při pracovních poradách.

Práce s textem je práce s učebnicí, cvičebnicí, sbírkou, programovým textem, doporučenou literaturou, časopisy a dalšími tištěnými materiály, které mají výchovně vzdělávací hodnotu. Tato metoda je ideální k získání cviku ve vyhledávání hlavních myšlenek v textu. V současné době se velmi často ukazuje, že žáci nejsou schopni v zadání úlohy nalézt informace potřebné k úspěšnému řešení. Několik zpracovaných příkladů v této práci se hodí právě pro tento způsob výuky.

Metody názorně demonstrační

Názorné metody je možné rozdělit do čtyř podkategorií: **ukázka**, **instruktáž**, **pozorování** a **pokus**.

Ukázka (předvádění, demonstrace) je názorné předvedení předmětů, jevů a procesů, které je provázeno výkladem, otázkami a dotazy žáků. Jde o řízené pozorování a poznávání. Ukázka je často doplněna mluveným nebo psaným slovem. Předvádět bychom měli pokud možno skutečné předměty, jevy a procesy. Někdy je vhodnější model, schéma, obraz nebo videozáznam. Ukázka může být zraková, sluchová, hmatová, čichová, chuťová nebo kombinovaná (audiovizuální). V této práci je mnoho ukázek, jedná se však většinou o filmové triky, a proto je nutné na to žáky předem upozornit.

Instruktáž spočívá v předvedení určitého úkonu, nebo soustavy navazujících úkonů, doplněném zpravidla popisem a vysvětlením demonstrované činnosti. Může být skutečná (přímá), nebo zprostředkovaná (videozáznam, film). V úvodu je třeba zdůraznit smysl úkonu a připomenout nezbytné teoretické poznatky a vysvětlení návaznosti a souvislosti s dalšími úkony. Úkon se předvádí jako celek v běžném tempu, poté zpomaleně a obtížné momenty je vhodné opakovat. Následuje většinou nácvik (praktická činnost žáků, praktické metody). Tuto metodu je ve fyzice možné uplatnit snad pouze u experimentů.

Pozorování spočívá v tom, že žáci podle pokynů učitele bezprostředně poznávají (pozorují) věci nebo jevy v jejich přirozeném prostředí. Je to systematická, zpravidla dlouhodobá činnost žáků, která je náročná na přesnost, vytrvalost a pravidelnost pozorování i záznamů. Pozorování je vhodné u dlouhodobých projektů nebo experimentů.

Pokus je umělé vyvolání jevu nebo procesu tak, abychom ho mohli dobře pozorovat, analyzovat a zjistit okolnosti jeho vzniku a stanovit podmínky jeho průběhu. Měl by být jednoduchý, bezpečný a přesvědčivý. Demonstrační pokus provádí učitel, frontální pokusy provádí žáci. Při pokusech žáci pozorují, popisují a analyzují jevy a děje. Jeho kritickým místem je přesvědčivost, některé pokusy je leckdy nutné naaranžovat tak, aby experiment vyšel, jak je potřeba ve výuce. Například při pokusech demonstrujících smykové tření vyjde velmi často závislost třecí síly na ploše, ačkoliv je to v rozporu s teorií. Tato metoda výuky je v praxi nejčastěji doplněna popisem.

Metody dovednostně–praktické

Metody dovednostně–praktické jsou nejvhodnější pro dlouhodobé zapamatování a jsou také pramenem poznání. Jejich důležitost byla známa už ve staré Číně, odtud je také přísloví:

« Řekni mi a já zapomenu, ukaž mi a já si zapamatuji, nech mě to udělat a já pochopím. »

Metody dovednostně–praktické lze rozdělit na čtyři podkategorie: **frontální pokusy, laboratorní práce, práce žáků s pomůckami a práce v dílně.**

Frontální pokusy konají zpravidla žáci v menších skupinkách, kdy všechny skupiny konají stejný pokus. Tato metoda je organizačně i metodicky náročnější činnost než demonstrace pokusu. Aktivita žáků spočívá ve vizuální, auditivní i motorické činnosti. Nevýhodou je nutné materiální vybavení, kdy každá skupina žáků má stejné pomůcky. Tato metoda se nejlépe hodí pro výuku mimo školu, kde je možné s žáky secvičit fyzikální představení a rozvíjet tak hned několik složek osobnosti.

Laboratorní práce je aktivní a samostatná práce žáků, kteří laborují, experimentují, pozorují, popisují, měří a dochází k určitým výsledkům a závěrům. Ty slouží k ověření už známých poznatků nebo vyvození poznatků nových. Učitel se žáky konzultuje a pomáhá řešit problémy. Realizace probíhá v odborných učebnách nebo laboratořích. Je vhodná při větší hodinové dotaci. Zároveň se žákům dává ke zpracování elaborát.

Práce žáků s pomůckami spočívá v tom, že žák (dvojice žáků) manipuluje, experimentuje a provádí vlastní měření s učební pomůckou (modely těles). Nejedná se o demonstraci jevů. Toto je vhodná metoda k doplnění popisu.

Při **práci v dílně** se žáci seznamují s vlastnostmi materiálů, učí se zacházet s nástroji a zvládají přiměřené pracovní úkony. Pěstitelské a chovatelské práce umožňují žákům bližší poznání živočichů, rostlin a zvládnutí technik jejich pěstování a ochrany. Opět metoda prakticky nevyužitelná v hodinách fyziky.

2.3.2 Aktivizující metody výuky

Jsou to postupy, které vedou výuku tak, aby se výukových cílů dosahovalo hlavně na základě vlastní práce žáků, přičemž se klade důraz na myšlení a řešení problémů. Tyto metody jsou vysoce efektivní ve vztahu k osvojovaným vědomostem a dovednostem i ve vztahu k rozvoji myšlení, představivosti, fantazie, tvůrčích schopností a tak dále. Tyto metody jsou však náročné na přípravu.

Mezi aktivizující metody patří: **rozhovor** (dialog a diskuse), **situační metody**, **inscenační metody**, **didaktické hry** a **problémové metody** (metoda heuristická).

Rozhovor

Základním prvkem rozhovoru je otázka, která je aktivizujícím prvkem a usměrňuje veškerou další činnost žáka. Lze dále dělit na **dialog** a **diskusi**.

Dialogem jsou otázky, které si kladou vzájemně oba účastníci rozhovoru. K rozhovoru je vhodné vyzvat vyspělejší žáky. Metoda dialogu se však dá použít jen v případě, že si je učitel zcela jist svojí autoritou a případně je s žákem domluven. V hodinách

fyziky je velmi často nepoužitelná, neboť znalosti žáka, či v horším případě pedagoga, nemusí být na úrovni, kdy je dialog vůbec možné vést.

Diskuse je typ rozhovoru, při kterém si všichni členové skupiny navzájem kladou otázky a odpovídají na ně. Diskutuje se na ožehavá témata. Používá se tehdy, když chce učitel znát názory žáků na určitý problém. Smyslem je výměna názorů a rozvoj komunikačních schopností. Zde je nutno dodržovat pravidla diskuse: nenapadat slovně diskutéry, nevyjadřovat se hrubě, držet se tématu, vyjadřovat svoje myšlenky, neschovávat se za fráze atd. V diskusi je od učitele žádáno, aby se s diskutujícími držel tématu a aby vedl diskusi k nějakému závěru. Diskuse bez jasně vytyčeného cíle nemá smysl, pak se totiž jedná o „plkání“.

Situační metody

Podstata situační metody spočívá v hledání postupů vedoucích k řešení určité konkrétní situace, která je žákům prezentována k řešení. Při realizaci jsou žáci spíše pozorovateli. Základem je přesný popis konkrétní situace, doplněný např. schémata, obrazem, videozáznamem apod. Úkolem žáků je najít (navrhnout) postup, jak danou situaci řešit. Opět se jedná o metodu, na které prakticky celá tato práce stojí, neboť každou ukázkou lze chápat jako jistou situaci, u níž chceme prověřit její platnost.

Inscenační metody

Inscenační metody staví na vtažení žáků do prožívání situace. Žáci sami ztvárňují a představují určité osoby, činnosti. Tyto metody využívají prvků dramatického učení a napomáhají osobnostnímu a sociálnímu rozvoji žáka. Tato metoda vede k naplňování osobnostně rozvojových i věcně vzdělávacích cílů. Při hraní rolí může žák buď zobrazovat sám sebe v situacích, které mohou nastat, nebo zobrazovat sám sebe v situacích, které zatím nemohou nastat, případně může zobrazovat sám sebe v situacích, které nemohou nastat, a nebo zobrazovat jiný jev, věc, jinou osobu, děj apod. Tuto metodu hojně využíval ve fyzice Jára Cimrman a byla popsána v divadelní inscenaci „Vyšetřování ztráty třídní knihy“ [7] Jaroslavem Weigelem. Praktické využití v hodinách fyziky si však nedovedu představit.

Didaktické hry

Didaktické hry jsou hry, ke kterým žáky záměrně podnítl pedagog a které směřují k dosažení určitých didaktických cílů. Učení probíhá nenásilně a jakoby ve druhém plánu. Je to hra s pravidly. Jedná se o prostředek všestranného rozvoje osobnosti žáka. Činnost, při které dítě spontánně uplatňuje poznávací aktivity a realizuje poznávací činnosti pod primárním vlivem příslušného pravidla. Didaktická hra má následující komponenty: cíl hry, pomůcky, pravidla hry, obsah (vlastní hra a hodnocení). Při stanovení hry je třeba respektovat schopnosti a věkové zvláštnosti žáků. Nevhodně zvolená hra žáky odradí. Velkou pozornost je třeba věnovat přípravě pomůcek. Pravidla hry musí být jasná, stručná a přesná. Na konci nesmí chybět zhodnocení. Opět je to metoda méně vhodná do hodin fyziky.

Problémová metoda

Problémová metoda spočívá v tom, že žákům nejsou sdělovány tzv. hotové poznatky, kladoucí nároky hlavně na paměť, ale jsou vedeni k tomu, aby samostatně nebo s nepatrnou pomocí učitele odvodili nové poznatky vlastní intenzivní myšlenkovou činností. Je to cesta náročnější a pomalejší. Podkategorií problémové metody je výukový problém. Žák dostane úkol, se kterým se dosud nesetkal a postup řešení nezná. Je zde buď teoretická nebo praktická obtíž, kterou žák samostatně řeší svým vlastním aktivním myšlenkovým zkoumáním. Přitom využívá dosavadní vědomosti a dovednosti.

Řešené problémy by měly vycházet z reálných životních situací nebo na ně navazovat. Měly by být přiměřené věku a schopnostem žáků. Měly by vést k uvažování, hledání, zkoumání. Řešení problému by mělo probíhat rozumovou analýzou, postřehem či intuicí a nebo metodou pokusu a omylu.

Nejtěžší na problémové metodě je zvolit vhodný problém, případně vhodně složitý problém dekomponovat tak, aby se náročnost pro žáka dle potřeby snížila.

2.3.3 Komplexní výukové metody

Mezi komplexní výukové metody se zařazují: **frontální výuka, skupinová a kooperativní výuka, partnerská výuka, individuální a individualizovaná výuka, samostatná práce žáků, kritické myšlení, brainstorming, projektová výuka, učení v životních situacích a výuka podporovaná počítačem.**

Jedná se o metody velmi často zahrnující výše uvedené metody, vizte 2.3.1 a 2.3.2.

Frontální výuka

Frontální výuka se vyznačuje dominantním postavením učitele, který řídí, usměrňuje a kontroluje veškeré aktivity žáků. Výuka se orientuje především na kognitivní procesy. Hlavním cílem výuky je osvojit si maximální rozsah poznatků. Spolupráce žáků je omezená, hlavním smyslem je vysvětlení poznatků všem žákům najednou. Tato metoda je z ekonomického pohledu nejučinnější, neboť v omezeném čase je možné předat maximální rozsah poznatků. Je velmi často napadána jako nevhodná z výchovného hlediska, neboť se zde nebere zřetel na osobnost žáka. Její hlavní výhodou je, že zajišťuje pořádek a kázeň, což je u ostatních metod velmi těžké zajistit, zároveň tato metoda velmi efektivně zajišťuje kontrolu výsledků práce žáků.

Vzhledem k historickému vývoji je tato metoda nejstarší a nejčastěji využívaná, jen těžko si však lze představit výuku většího množství studentů, kde by vůbec nebylo využito frontální výuky. Lze se bez ní obejít tam, kde je hodně času a je vyučováno maximálně pět žáků. Frontální výuka se řadí mezi komplexní metody především proto, že v sobě zahrnuje *metody slovní* a *metody názorně demonstrační*. Ze slovních metod se jedná především o metody *výkladu* a *vysvětlování*, na kterých prakticky tato metoda stojí. Ukázky připravené v této práci jsou směřovány především k využití při frontální výuce.

Poznámka 1 *Je zajímavé, že v praxi se lze prakticky vždy při hospitacích setkat s tím, že hospitující učitel metodiku hodiny shrne jako metodu převážně frontální výuky, ač se vyučující snaží využít velké spektrum slovních metod vhodně doplněných názornou*

demonstrací. Toto je dáno především tím, že se v hospitačních záznamech nerozvádí komplexní metody.

Je bohužel také pravdou, že frontální výuka vede k uniformitě hodin a k pasivitě žáků. Vzhledem ke stále většímu podílu hyperaktivních či neukázněných žáků ve třídách však nepochybně v budoucnu bude snaha samotných pedagogů o využití především skupinové výuky na úkor frontální výuky. Při skupinové výuce totiž není kladen tak velký důraz na pořádek ve třídě.

Skupinová a kooperativní výuka

Skupinová výuka spočívá v rozdělení žáků do skupin. Skupiny bývají nejčastěji voleny jako tříčlenné až pětičlenné. Skupina žáků pak spolupracuje na řešení úlohy. Základem této výuky je dělba práce žáků při řešení úlohy či problému, vzájemná pomoc členů skupiny a odpovědnost jednotlivých žáků za výsledky společné práce.

Kooperativní výuka je založena na spolupráci žáků mezi sebou při řešení různých náročných úkolů a problémů, ale i na spolupráci třídy s učitelem. Bývá realizována opět ve skupinách.

Hlavní výhodou těchto metod je interakce žáků ve skupině, individuální odpovědnost žáků za skupinovou spolupráci, včetně hodnocení přínosu jednotlivců pro společné řešení úlohy nebo problému a vývoj účinných sociálních dovedností.

Nejdůležitější fází této výuky je prezentace výsledků. Tato fáze má největší smysl z pohledu výuky, neboť právě v této fázi žáci získají zpětnou vazbu na svoji práci v porovnání s ostatními skupinami.

Velmi důležité je však zvolit vhodnou skupinu jak velikostí, tak i jejím složením. Charakter zadávaných učebních úloh je však ještě důležitější, neboť úlohy či problémy je nutno volit tak, aby je bylo velmi lehké dekomponovat a rozdělit mezi členy ve skupině. Tato metoda je vhodná především jako aktivizující prvek ve výuce. Dále se dá velmi výhodně využít při opakování učiva či v úlohách zaměřených na výpočty. Jejich využití je však závislé na častém používání. Žáci, kteří se s touto metodou setkají poprvé, mají velké problémy pochopit, co se po nich vlastně chce a jak si úlohu rozdělit. Tato metoda se osvědčuje až zhruba po čtvrtém použití, kdy už žáci ve skupinách vědí, co a jak mají dělat.

Partnerská výuka

Partnerskou výukou se rozumí spolupráce žáků při učení ve dvoučlenných skupinách. V rámci frontální výuky představuje krátkodobé pracovní společenství dvou žáků. Je však málo používaná, i když nevyžaduje žádná náročná opatření.

Podstatou je vzájemná spolupráce dvou žáků, kteří si vyměňují názory na řešení úloh, srovnávají postoje, pomáhají si v obtížích, konverzují, opravují své chyby atd. Tradiční výuka spolupráci zakazuje, protože vnímá žáka jako individuum.

Tato metoda výuky se může obecně jevit jako nejpřirozenější výuková metoda.

Individuální a individualizovaná výuka, samostatná práce žáků

Metoda nejčastěji využívaná jako součást frontální výuky, kdy žáci samostatně pracují na úkolu a pedagog obchází třídu a pomáhá či dovysvětluje jednotlivcům po-

třebné poznatky. Tato metoda je vhodná především pro zpětnou vazbu ve výučovacím procesu.

Kritické myšlení

Kritické myšlení je nástroj, který pomáhá žákům přejít od povrchního učení k hloubkovému, k odhalování souvislostí a k porozumění učivu. Zároveň umožňuje žákům dospět k vlastním závěrům. Vychází z koncepce konstruktivistické psychologie a pedagogiky, podle ní člověk nepřebírá hotové poznatky, ale konstruuje je na základě svých dřívějších zkušeností a dříve osvojených znalostí. Protože moderní doba vyžaduje schopnost samostatného rozhodování, zodpovědného řešení problému a kritického myšlení, je vhodné tuto metodu ve školách rozvíjet.

Ústřední moment kritického myšlení je tzv. třífázový model učení.

První fází je vyvolání zájmu o problematiku. Zjišťujeme, co žáci o problému vědí. Následně formulují své nejasnosti, otázky, což by u nich mělo vyvolat zájem o řešení problému.

Druhá fáze je uvědomění si významu, kdy podněcujeme žáka, aby hledal nové informace, zpřesňoval názory a konfrontoval je se svými představami.

Třetí fází je reflexe, která vede k prohloubení učiva. Žáci třídí, systematizují a upevňují získané vědomosti. Přetváří své poznatkové struktury a převádějí je do smysluplného rámce souvislostí a vazeb.

Tato metoda je vhodná při řešení problémových úloh.

Brainstorming

Velmi často je tato metoda překládána do češtiny jako „burza nápadů“. Metodu navrhl Alex Faickney Osborn v roce 1953 jako metodu podněcování skupin k tvůrčímu myšlení. Hlavním smyslem je vyprodukovat co nejvíce nápadů a potom posoudit jejich užitečnost. Nenabízí úplné řešení problému. Není vhodná pro řešení problémů, které předpokládají analytické postupy nebo minimální počet alternativ řešení.

Optimální čas trvání je 30–45 minut, počet účastníků 7–12. Ve třídě se většinou tvoří více skupin. Lze však organizovat brainstorming jako vstup do skupinové výuky nebo projektové výuky v kolektivu celé třídy.

Při užití metody brainstormingu je nutné dodržovat některá pravidla. Nesmí se kritizovat nápady, podporuje se naprostá volnost v produkci nápadů, zaměřujeme se na vyprodukování co největšího počtu nápadů a každý nápad se musí zapsat.

Tato metoda je velmi vhodná při vytváření scénářů v inscenačních metodách. Méně vhodná je pak při řešení problémových úloh.

Projektová výuka

Projekt lze vymezit jako komplexní pracovní úkol, při jehož řešení si žáci současně osvojují nové vědomosti a dovednosti. Při jeho realizaci se uplatňuje mnoho aktivizujících metod, zejména metod samostatné práce. Důležitá je kromě cíle i cesta k tomuto cíli. Je to proces poznávání, aktivní a samostatná myšlenková i praktická činnost žáků při řešení dílčích úkolů. Projektové vyučování je výuka založená na projektové metodě.

Základem je stanovení úkolu, který je pro žáky zajímavý, stanovení postupu při realizaci projektu, takzvaný plán řešení. Následně se projekt realizuje, což vede ke

splnění stanovených cílů. Nakonec je nutné projekt vyhodnotit a zveřejnit výsledky realizace projektu, tato část je opět důležitá jako zpětná vazba.

Hlavními myšlenkami projektového vyučování je vytvoření konkrétního produktu, týmová práce, schopnost samostatně vyhledávat informace, respektování mezipředmětových a časových souvislostí, respektování individuality a samostatného postupu. Učitel v projektu vystupuje jako rádce.

V USA je tato metoda velice oblíbená. Největší úskalí tkví ve stanovení vhodného úkolu a jeho následné realizaci. Jako nejvhodnější forma projektu se jeví laboratorní úloha, neboť při vhodně zvoleném projektu žák může dosáhnout mnohem lepší znalosti dané problematiky.

Otevřené učení

Otevřené učení je metoda použitelná především jako alternativa ke klasické výuce. Umožňuje žákům zvolit si tempo a pořadí činností dle vlastního výběru. V běžných školách je prakticky nepoužitelná.

Učení v životních situacích

Navazuje na problémovou a projektovou výuku. Podstatou je snaha přiblížit školu životu, nebo umožnit životu proniknout do školy. Tomu musí odpovídat vhodný výběr učiva a volba témat. Ta musí vycházet ze životních situací. Žák získává vědomosti na základě vlastních zkušeností, praktických činností. Důležitý je styk s realitou, životem, uspokojování potřeby žáků něco smysluplného řešit, dosahování hmatatelných, konkrétních cílů.

Principy učení v životních situacích: aktivita žáků, experimentování (činné zasahování), vhodná motivace (probuzení zájmu), princip názornosti (interakce konkrétního a obecného), princip syntézy, statiky a dynamiky, princip bipolarity parciálního a globálního pohledu, princip řádu.

Vhodné situace, které je možno využít, jsou školní výlet, exkurze, vycházka apod. Ve výuce fyziky je tato metoda vhodná především při exkurzích.

Výuka podporovaná počítačem

Tato metoda staví na různých aplikacích, které pokrývají rozsáhlou edukační oblast. Je možné využít software na procvičování látky, simulační programy a didaktické hry, expertní systémy a výukové programy využívající umělé inteligence, elektronické učebnice a encyklopedie, programy pro řízení laboratorní výuky a vzdálených laboratoří a mnoho dalších. Velmi vhodné pro výuku fyziky jsou programy simulující některé reálné objekty, na nichž si žák může vyzkoušet jejich chování při změně různých parametrů. Tato výuka se hodí jako aktivizující prvek či jako hodnotící prvek ve výuce.

V této metodě se učitel stává velmi často organizátorem či manažerem výukového procesu nebo partnerem žáka jako jeho pomocník a rádce.

2.4 Psychologické aspekty fantasy a sci-fi literatury

Základem sci-fi a fantasy literatury je imaginace (představivost). To je dle mého úsudku hlavní důvod, proč někteří lidé milují fantasy příběhy a jiní je zcela odmítají. Člověk, který má dobrou představivost a je ochotný se ponořit do příběhu, ten si příběhy z tohoto žánru vychutná a nalezne v nich dobrodružství, napětí, v přeneseném smyslu i uspokojení svých potřeb a tužeb. Člověku, který ve svém nitru odmítá imaginaci jako nepotřebnou či dětinskou, tomu fantasy či sci-fi příběhy budou připadat nesmyslné a zbytečné. V příbězích je však možné hledat i zajímavé myšlenky a nápady, myšlenky jak skloubit neobvyklé věci dohromady a získat tak něco nového či neočekávaného.

Z historického pohledu imaginaci lze hledat v pohádkách nebo mýtech, z nichž se v průběhu 20. století vydělily žánry sci-fi a fantasy, ve kterých jsou příběhy vystavěny téměř zcela od základu. Dle Marie-Louise von Franz [8] je základem pohádky lokální pověst, která postupem času zobecní, ztratí svůj lokální charakter a zbyde pouze nejzákladnější struktura. Tu je možno si dobře zapamatovat pro další reprodukci. Ještě mnohem starší náznaky imaginace lze hledat u primitivních národů, kde se denní snění velmi často stávalo skutečností, o níž nikdo nepochyboval a takováto událost byla dále reprodukována.

V tomto místě zanechme popisu fantasy a sci-fi žánru a dále se věnujme rozboru představ a fantazie s aplikacemi jejich využití v literatuře.

Obecná psychologie uvádí dva druhy funkce představivosti. Primární funkcí představivosti je nabídnout alternativu k realitě, čímž přispívá k udržení duševní rovnováhy jedince. Sekundární funkce představivosti je vytváření alternativního modelu vnějšího světa, který je potřebný zejména k tvůrčí činnosti. Nás v dalším textu bude zajímat převážně sekundární funkce, neboť ta se uplatňuje nejvíce v žánrech fantasy a sci-fi, o kterých ve své práci pojednávám.

Dále lze z pohledu psychologie představu rozdělit na dva základní pilíře, a to paměťové představy a fantazijní představy. **Paměťové představy** jsou ty, které vycházejí z reality a jsou velmi blízké původnímu zážitku. Jsou to především mentální reprezentace dřívějších sensoricko-vjemových, případně citových zážitků. **Fantazijní představy** jsou mnohem odlišnější od původních zážitků a vznikají na základě vnitřních potřeb. Tyto představy nejsou pouhou reprodukcí dříve vnímané skutečnosti, ale je v nich něco pozměněného nebo nového [9]. Fantazijní představy obvykle vychází z paměťových představ a jsou jejich extrapolací či spíše asociací.

Zmíněné asociace tvoří takzvané **asociační zákony**, které lze dělit na primární a sekundární. Mezi primární asociční zákony formulované Josefem Fröbesem, vycházející z formulací Davida Huma, je možné řadit **zákon podobnosti**. Příkladem může být pohled na dílo nějakého autora, při němž se nám vybaví jeho ostatní díla. **Zákon kontrastu** zahrnuje například představy dne a noci, světla a stínu atd. **Zákonem dotyku (kontiguity) v prostoru** rozumíme například setkání s člověkem, s nímž jsme byli minulý rok u moře, následně se nám začnou vybavovat zážitky z loňské dovolené. **Zákon dotyku v čase** nám asociuje představy, které vznikly buď současně, nebo v časové následnosti, například blesk a hrom. A konečně poslední zákon, **zákon příčinnosti (kauzality)**, nám umožní například při pohledu na pytel jablek vytvořit si představu toho, kdo je natrhal.

Mezi sekundární asociační zákony formulované Thomasem Brownem řadíme **zákon živosti**, **zákon častosti** a **zákon novosti**. Tyto zákony říkají, že čím je asociace novější, čím častěji se opakuje a čím silnější je její emoční přízvuk, tím snadnější je její vybavení.

Primární zákony asociace je možné využít při psaní fantasy příběhu, neboť tyto zákony nám umožňují vytvořit si zcela nečekané kombinace představ, které mohou upoutat pozornost čtenáře či diváka. Takto vytvořené variace mohou být nápomocny k rozšíření úhlu pohledu na svět, neboť čtením fantasy příběhů (především čtením, nikoliv sledováním filmu) se může člověk obohatit o zkušenosti, které není schopen získat jinak než prožitím příběhu ve své fantazii.

Sekundární asociační zákony souvisí spíše se zapamatováním si velkého množství různých objektů. Pro zapamatování lze užít dvě základní techniky. **Technika umístění (loci)** funguje tak, že si nejprve představíme dokonalou kognitivní mapu prostoru (nejčastěji nějaká pro nás velmi známá budova), jejíž lokality jsou co nejvíce odlišné. Do těchto míst pak umísťujeme objekty, které si chceme zapamatovat. Při vybavování procházíme daný prostor a velmi jednoduše si vybavujeme postupně jednotlivé objekty. Druhá technika pro zapamatování využívá **efektu bizarnosti**, neboť člověk si spíše zapamatuje bizarní objekty než objekty běžné. Spolu s technikou umístění jsou tyto dvě techniky velmi úspěšné. Lze uvést i příklad z fantasy literatury. Představme si například „krabotnice“, to jsou tvorové vypadající a pohybující se jako krabi, avšak místo klepet mají chapadla. Takováto stvoření si člověk velmi dobře zapamatuje na velmi dlouho a ihned se mu vybaví i celá kniha. Pro spisovatele fantasy je přínos jasný, čtenář si ho bude dlouho pamatovat a pravděpodobně i jeho další díla vyhledávat.

Fantazijní představy lze rozdělit na čtyři druhy. **Rekonstrukční fantazie** slouží k vytváření myšleného objektu podle popisu či schématu. V literatuře je to nejčastěji vytvoření představy o hrdinovi. V dnešní době se s tímto setkáváme velmi často u science fiction seriálů, kde prvních několik dílů je věnováno seznámení s hlavními hrdiny. Divák si tak vytvoří představy, jak by se daný hrdina měl v dalších dílech chovat, a seriál je pak zaměřen na problémová rozhodnutí hlavního hrdiny. Tento rozšířený trend je pro producenty výhodný, neboť se mohou zaměřit na širší divácké spektrum a nikoliv jen na fanoušky daného žánru.

Tvůrčí fantazie slouží k vytváření nových představ. Tvůrčí fantazie bohužel ve filmech mnoho nenajdeme, přesto jsou některé knihy na tomto druhu fantazie založeny. Příkladem může být kniha *Stroncium* od autora Jiřího Kulhánka nebo *Kyberriáda* od Stanisława Lema.

Bezděčná fantazie je nezáměrná fantazie. Najdeme ji v denním snění, vyprávění zážitku, který si během vyprávění dotváříme (každé další povídání je pak o něco doplněné), či snění ve spánku. **Denní snění** je zajímavé hned z několika pohledů. Za prvé má plánovací funkci a je často zaměřené do budoucna. A za druhé je velmi často předlohou pro většinu fantasy příběhů, příkladem by mohla být kniha *Eragon* Christophera Paoliniho. Zároveň denní snění motivuje k dosažení snů, nebo u některých jedinců může mít i kompenzační funkci či funkci úniku od reality. Tato funkce často koresponduje s oblibou počítačových her, kdy hráč uniká z nehostinného světa do virtuální reality a žije zde jiný život.

Poznámka 2 *Pozor, není radno hned odsuzovat všechny hráče počítačových i jiných her. Někdy je hra jedinou možností, jak si vyzkoušet role, které by v reálném životě ne-*

obstály, a tím prozkoumat další možnosti rozvoje osobnosti. Toto je například důležitým smyslem her v rozvoji osobnosti dítěte.

Zaměříme-li se na fanasy filmy, pak je vhodné citovat filosofa *Gregoryho Currie* [10].

SZCZEPANIK, Petr, SKOPAL, Pavel, KUČERA, Jakub. *Imaginace a mentální stavy v diváckém rozumění filmové fikci: Rozhovor s Gregorym Curriem.*

« Film nás podněcuje k tvorbě myšlenek různého druhu: myšlenek o postavách, o zápletkách, ale také silně emocionálně založených myšlenek. Zvláště pro komerčně úspěšné filmy je charakteristické, že vytvářejí emociálně nabitě nálady, které jsou pro diváky velmi atraktivní.

...

Dnes používáme své mysli k tvorbě matematických, biologických nebo astronomických teorií a můžeme si být jisti, že tento druh aktivit neměl místo v době, kdy se lidská mysl vyvíjela, a že naše druhové přežití na nich nezáviselo. Je tedy pravděpodobné, že mentální funkce určené k jednomu účelu mohly později sloužit k účelu odlišnému. A to mohl být i případ imaginace.

Imaginace v evoluci plnila dvě funkce, které nesouvisejí s fikčními narativy. Za prvé byla nástrojem pro plánování akcí. Filosofové, jako například Daniel Dennett, upozorňují na to, že je velmi užitečné mít mysl, jež testuje teorie o akcích, o tom, jak za daných okolností jednat a jaký je nejbezpečnější způsob určitého jednání, aniž by byly tyto akce reálně provedeny. Protože když vykonáte určité akce a provedete to špatně, stihne vás za to trest.

...

Za druhou velmi důležitou funkci imaginace, která rovněž souvisí se statusem člověka jako vysoce společenské bytosti, je psychologie obvykle považována takzvaná machiavelliánská inteligence. Jde o schopnost lidských bytostí vzájemně se klamat a také odhalit, kdy jsem klamán druhým. »

Dle *Currieho* smysl fantasy či sci-fi filmu je v podněcování myšlenek, které nám umožňují vnímat náš svět v širším kontextu. Imaginace (představivost) ve filmu tak může rozvíjet divákovu osobnost.

Závěrem lze v bodech uvést možný význam fantasy pro vnímavého čtenáře či diváka.

- únik ze „skutečného života“
- zábava, rozptýlení
- útěcha – splnění různých přání (dobrodružství, lásky, bezpečí, úspěchu atd.)
- dodávání naděje, optimismus – příběhy mají zpravidla dobrý konec
- varování, upozornění na možné důsledky jednání
- rozlišení dobrého a zlého
- odlehčení a vstup do světa možností
- přesah za horizont a poznání jiných světů

Kapitola 3

Dosavadní stav využití sci-fi

3.1 Historie sci-fi a fantasy

Zkratka sci-fi, jinak řečeno „science fiction“, je běžně překládána jako vědecká fantastika. Z počátku byla vědecká fantastika řazena do literárního proudu „vědecko-fantastická literatura“. Později se od tohoto označení začalo upouštět, neboť tento pojem se dále začal dělit na různé žánry a zároveň se ukázalo, že některá jiná díla (fantasy) se do vymezení tohoto pojmu nehodila. Pro oba pojmy, jak sci-fi, tak fantasy, se proto začal užívat souhrnný název „speculative fiction“, též často označovaný zkratkou SF, česky tento název lze přeložit jako „spekulativní fikce“. Tento pojem zavedl Robert A. Heinlein jako náhradu termínu sci-fi, který je v USA vnímán spíše potupně, označuje totiž brakovou literaturu.

Poznámka 1 *Potupnost označení sci-fi v USA je dána specifickým vývojem vědecké fikce na americkém knižním trhu, ten se v 50. letech řídil zásadou, že autor píšící pro časopis či magazín by měl být brán jako podřadný oproti autorovi píšícímu uměleckou literaturu.*

Je zajímavé, že dle některých literárních studií by spekulativní fikce měla být brána jako literární proud dělící se na žánry sci-fi, fantasy a další, které se dále dělí na subžánry. Toto dělení bude v dalším textu dodržováno. Pojmu spekulativní fikce (zkráceně SF) bude nadále užíváno pro popis děl věnujícím se jak sci-fi, tak fantasy příběhům. Samotné definici pojmů sci-fi a fantasy se věnujme později, neboť není snadné tyto žánry od sebe jednoduše oddělit.

3.1.1 Historie žánru sci-fi

Samotný pojem science fiction či zkráceně sci-fi zavedl Hugo Gernsback. Tento pojem se objevil v prvním science fiction časopisu nesoucím název „Amazing Stories“. Zakladatelem tohoto časopisu byl právě Hugo Gernsback, časopis byl založen v roce 1926. Po něm je také přejmenováno ocenění „Hugo Award“ (původní název tohoto ocenění byl „Science Fiction Achievement Award“, které se uděluje autorům literatury science fiction za výjimečná díla. Dalším významným jménem ve světě vědecko-fantastické literatury je jméno John Wood Campbell, který se v roce 1937 stal

redaktorem časopisu „Astounding stories“. Tento časopis byl založen v roce 1930 po zániku časopisu „Amazing Stories“ a byl to právě tento časopis, který velkou měrou přispěl k rozkvětu science fiction ve 40. letech 20. století v USA. Campbellův přínos byl především v tom, že ve svém časopise kladl důraz na kvalitu povídek a nepřijímal povídky, které byly nesmyslné. Tím prakticky definoval pojem sci-fi. Období 1938–1946 je v USA pokládáno za zlatý věk sci-fi.

V následujících letech vzniklo několik dalších časopisů a fanzinů (složenina slov fan + magazine). V 60. letech 20. století se zvedla obliba paperbacků (brožurek kapesního formátu) a vzniká hnutí „Nová vlna“, které se snaží co nejvíce přiblížit k hlavnímu proudu umělecké literatury. Podle tohoto hnutí se má sci-fi primárně vyjadřovat ke konkrétním situacím člověka jako individua. V následujících letech lze pozorovat odklon sci-fi od vědeckých či pseudovědeckých spekulací a dobrodružného děje.

V 90. letech 20. století se objevuje další hnutí, které se vrací ke staré tradici technické SF. V jednadvacátém století je pak sci-fi zmítáno různými moderními trendy a stává se komerční záležitostí.

Samotnou historii sci-fi nelze datovat od počátku 20. století, ale jistou předzvěst lze objevit i v dílech datovaných do počátku 19. století. Prvky sci-fi lze najít například v některých povídkách Edgara Alana Poea a v románu *Frankenstein* (1818) autorky Mary Shelleyové. Náznaky sci-fi však lze hledat i v dílech některých antických a středověkých autorů, zde se však víceméně jedná o prvky fantasy literatury.

3.1.2 Historie žánru fantasy

Historie fantasy příběhů sahá k samým počátkům historie lidstva. Příkladem mohou být pohádky, mýty (báje), legendy a další, kde jsou často historické události propleteny s fantastickými prvky. Samotný pojem fantasy byl dříve užíván pro označení všech literárních děl, které nepopisovaly realitu, až později (zhruba ve 30. letech) se tohoto pojmu začalo užívat pro díla, která nebyla sci-fi, ale obsahovala fantastické prvky. Tak tomu bylo alespoň v anglicky mluvících zemích. V českých zemích je pojem fantasy o něco více zúžen, neboť si pod tímto pojmem představujeme především hrdiny bojující s mečem nebo magií.

Za zakladatele tohoto žánru lze považovat Roberta Ervina Howarda a Johna Ronalda Reuela Tolkiena. Robert Ervin Howard se proslavil především psaním příběhů o barbaru Conanovi v pulpovém magazínu „Weird Tales“. Tyto příběhy byly prakticky odrazovým můstkem pro žánr fantasy. John Ronald Ruel Tolkien byl anglickým autorem a proslavil se především díly *Hobit* a *Pán prstenů*, která lze považovat za základ moderního žánru fantasy.

Poznámka 2 *Pulpový magazín byl sešitový časopis, kde text byl tištěn na nekvalitní levný papír. Významným znakem takového časopisu byl senzační přebal, text bez ilustrací a špatně ořezané stránky. Cena se ve spojených státech pohybovala v řádech desetinců za kus.*

V 50. letech 20. století se k této dvojici autorů přidává Clive Staples Lewis, který je pokládán za zakladatele křesťanské linie fantasy literatury. V 60. letech 20. století se centrum dění fantasy přesouvá opět do Ameriky. Toto období je označováno jako zlatý

věk fantasy. Dnes je žánr fantasy dále dělen do několika podkategorií, z nichž je dnes nejvíce v módě podkategorie obsahující příběhy s výskytem magie, upírů a vlkodlaků.

3.1.3 Definice a dělení pojmů sci-fi a fantasy

Definovat pojmy sci-fi nebo fantasy, je prakticky nemožné. Existuje více než třicet různých definic těchto pojmů. Předkládat zde různé definice jednotlivých autorů či soupis všech možných dělení těchto žánrů je pro potřeby této práce zbytečné. Zmíňme zde pouze některé pracovní definice těchto pojmů a zajímavé podkategorie, ze kterých lze čerpat nápady do hodin fyziky.

Obecně lze sci-fi dělit na dvě základní větve. Obě větve jsou pojmenovány podle svých zakladatelů, a to verneovská větev (autorem, po kterém je pojmenována, je Jules Verne) a wellsovská větev (pojmenovaná po Herbertu George Wellsovi). Verneovská větev je zaměřena na vědecký a technický vývoj a jeho předvídání. Wellovská větev je zaměřena především na filozofické a sociální otázky.

Pro potřeby této práce jsou použitelné především příběhy verneovské větve, a to nejlépe ty, které se běžně označují pojmem *hard science fiction*. Takovéto příběhy se totiž opírají o poznatky fyziky, astronomie, astrofyziky a dalších vědních oborů, zároveň je velmi časté, že autoři těchto příběhů kvantitativně popisují některé situace, a ty je pak možné potvrdit či vyvrátit výpočtem vhodného modelu. U ostatních příběhů z jiných subžánrů bývá obvykle problém cokoliv prověřit pro nedostatek informací, které autor v díle poskytne.

Pro naši potřebu za sci-fi považujeme každý příběh, ve kterém je základem vědecký pokrok, nejlépe však nový technický vynález. Tento vynález nechť je extrapolací současných vědeckých poznatků. Všechny ostatní příběhy bez zajímavých technických „udělátek“ považujeme za nezajímavé a řadíme je na okraj tohoto žánru.

Za základ žánru fantasy považujeme příběhy popisující zejména hrdiny, aktivně užívající magii či nějaký magický předmět a s tímto vybavením překonávající překážky, jež jim do cesty klade zlo. Hrdina by se měl zároveň chovat rozumně a měl by být schopen magii skloubit s fyzikálními zákony daného světa. Takto postavený fantasy příběh je pak možné prověřit a navrhnout způsoby řešení bez magie. Tento subžánr se běžně označuje jako *science fantasy* a děj zde velmi často vrcholí (nebo je založen) na citátu:

CLARK, Arthur Charles

« *Jakákoliv dostatečně pokročilá technologie je nerozlišitelná od magie.* »

Tento citát byl zveřejněn v druhém revidovaném vydání knihy *Profiles of the future: An inquiry into the limits of the possible* z roku 1973, autorem je Sir Arthur Charles Clark.

3.1.4 Vybraní autoři a některá díla SF

Následující seznam autorů SF je vytvořen na základě hodnocení oblíbenosti na webu „LEGIE – databáze knih Fantasy a Sci-Fi“ [11], dále pak z informací nacházejících se na webu „Listverse“ [12] a na webu „Decoded Stuff“ [13]. Oba posledně zmíněné weby se zabývají vyhledáváním zajímavých a málo známých faktů na internetu a vytvářením žebříčků.

Autoři nejsou tříděni dle jména, ale dle roku narození. U každého autora je uveden rok narození, případně rok úmrtí, dále pak národnost a významná díla s českým a původním názvem. V závorce je uveden i rok prvního vydání díla. Pokud je to možné, tak jsou díla řazena dle významu, u některých významných děl je uveden i krátký popis.

- **Homér** (* 8. století před Kristem – † 9. století před Kristem), řecký vypravěč. Dílo: *Odyssea* (8. století před Kristem) – popis Odysseových cest
- **Aristokles, syn Aristona a Periktiony** (* 427 před Kristem – † 347 před Kristem), pseudonym **Platón**, řecký filosof, pedagog a matematik. Dílo: *Timaios, Kritias* (4. století před Kristem) – dialogy, líčí vznik světa a popisuje Atlantidu
Ústava (kolem roku 370 před Kristem) – dílo s prvky utopie
- **sv. Thomas More** (* 1478 – † 1535), anglický právník, politik, spisovatel, světec a mučedník. V letech 1529–1532 zastával úřad lorda kancléře krále Jindřicha VIII. Dílo: *Utopie* (Utopia, 1516) – spis o ideálním státu
- **François Rabelais** (* 1492 – † 1553), francouzský spisovatel, právník, lékař, botanik a stavitel. Dílo: *Gargantua a Pantagruel* (1532-1564)
- **Miguel de Cervantes y Saavedra** (* 1547 – † 1616), španělský voják, básník a spisovatel. Dílo: *Důmyslný rytíř don Quijote de la Mancha* (El ingenioso hidalgo Don Quixote de la Mancha, 1605)
- **Giovanni Domenico Campanella** (* 1568 – † 1639), italský filosof, teolog, astrolog a básník. Dílo: *Sluneční stát* (1623) – dialog o ideálním modelu společnosti
- **Jonathan Swift** (* 1667 – † 1745), anglický spisovatel, satirik, pamfletista, básník a anglikánský kněz. Dílo: *Gulliverovy cesty* (Gulliver's Travels, 1735) – původní dílo je mnohem zajímavější než zkrácené české překlady.
- **Edgar Allan Poe** (* 1809 – † 1849), americký romantický básník, prozaik, literární teoretik a esejista. Díla: *Pád do Maelströmu* (A Descent into the Maelström, 1841)
Senzace s balónem (The Balloon-Hoax, 1844)
- **Jules Verne** (* 1828 – † 1905), francouzský spisovatel, v dílech předvídá možné nové vynálezy. Díla: *Pět neděl v balóně* (Cinq semaines en ballon, 1863) – skupina mužů odletí balónem a prozkoumává Afriku.
Cesta do středu Země (Le voyage au centre de la terre, 1867)
Ze Země na Měsíc (De la Terre a la Lune, 1865)
Dvacet tisíc mil pod mořem (Vingt mille lieues sous les mers, 1870)
Tajuplný ostrov (L'île mystérieuse, 1875)
Ocelové město (Les Cinq Cents Millions de la Bégum, 1879)

- **Charles Lutwidge Dodgson** (* 1832 – † 1898), pseudonym **Lewis Carroll**, anglický spisovatel, matematik, logik, učenec, anglikánský diákon a fotograf. Díla: *Alenka v říši divů* (Alice's Adventures in Wonderland, 1865)
- **Jakub Arbes** (* 1840 – † 1914), český spisovatel a novinář. Díla: *Svatý Xaverius* (1872)
Newtonův mozek (1877)
- **Svatopluk Čech** (* 1846 – † 1908), český básník, prozaik, novinář a cestovatel. Díla: *Pravý výlet pana Broučka do Měsíce* (1888)
Nový epochální výlet pana Broučka, tentokráte do XV. století (1888)
- **Herbert George Wells** (* 1866 – † 1946), anglický spisovatel, kladl si otázku o příštím osudu lidstva a uspořádání lidské společnosti, nezajímá se jen o technické vynálezy, ale i o biologii a filozofii. Díla: *Stroj času* (The Time Machine, 1895) – hlavní hrdina se přenesl v čase do budoucnosti, kde se zamiluje.
Neviditelný (The Invisible Man, 1897) – hrdina vyrobí lektvar neviditelnosti
Válka světů (The War of the Worlds, 1898) – invaze mimozemšťanů z Marsu na Zemi (při rozhlasovém zpracování v roce 1938 vypukla panika, neboť byl tento román považován za skutečnost)
První lidé na Měsíci (The First Men on the Moon, 1901)
- **Hans Joachim Dominik** (* 1872 – † 1945), německý autor science fiction, novinář a inženýr. Díla: *Die Macht der Drei* (1921)
- **Jan Matzal** (* 1881 – † 1961), český spisovatel, který publikoval ve 30. a 40. letech 20. století. Science fiction psal pod pseudonymem **J. M. Troska**. Psal i pod pseudonymem **Jan Merfort**. V roce 1947 dosáhl úřední změny svého jména na Jan Troska. Díla: *Vládce mořských hlubin* (1937)
Paprsky života a smrti (1937–1940)
Kapitán Nemo (1939)
Zápas s nebem (1940)
- **Alexandr Romanovič Běljajev** (* 1884 – † 1942), první ruský spisovatel, který se věnoval fantastice. Dílo: *Člověk obojživelník* (Человек-Амфибия, 1928)
- **Howard Phillips Lovecraft** (* 1890 – † 1937), americký básník, spisovatel, esejista a amatérský žurnalista věnující se literární tvorbě v oblasti fantasy, science fiction a především hororu, které kombinoval v tehdejší oblíbeném žánru weird fiction. Po celý život se potýkal s finančními obtížemi, které řešil ghostwritingem (psal díla na zakázku, bez autorských práv). Díla: *Volání Cthulhu* (The Call of Cthulhu, 1926)
- **Karel Čapek** (* 1890 – † 1938), český spisovatel, intelektuál, novinář, dramatik, překladatel a fotograf. Díla: *R.U.R.* (Rossum's Universal Robots, 1920) – zkratka znamená Rossumovi univerzální roboti, poprvé ve sci-fi použit pojem robot

- Továrna na absolutno* (1922)
Krakatit (1922)
Válka s Mloky (1936)
- **Jan Weiss** (* 1892 – † 1972), český spisovatel, ministerský úředník, prozaik. Je považován za jednoho ze zakladatelů české sci-fi. Díla:
Zrcadlo, které se opožďuje (1927)
Barák smrti (1927)
Fantom smíchu (1927)
Dům o 1000 patrech (1929)
 - **John Ronald Reuel Tolkien** (* 1892 – † 1973), anglický spisovatel, filolog a univerzitní profesor. Díla:
Hobit aneb Cesta tam a zase zpátky (*The Hobbit or There and Back Again*, 1937)
Pán prstenů (*Lord of the Rings*, 1954–1955)
 - **Clive Staples Lewis** (* 1898 – † 1963), spisovatel irského původu, jeden z nejúspěšnějších autorů moderní britské historie. Je známý díky svému dílu z oblastí středověké literatury, křesťanské apologetiky, literární kritiky a beletrie. Díla:
Letopisy Narnie celá série knih (*Chronicles of Narnia*, 1949–1954)
Rady zkušeného ďábla (*The Screwtape Letters*, 1942)
 - **František Běhounek** (* 1898 – † 1973), český fyzik, akademik, profesor a spisovatel, autor odborné literatury a science fiction. Díla:
Boj o Zeměkouli (1939)
Případ profesora Hrona (1947)
Únik z atomového města (1948)
Akce L (1956)
Robinsoni vesmíru (1958)
Projekt Scavenger (1961)
 - **Eric Arthur Blair** (* 1903 – † 1950), pseudonym **George Orwell**, britský novinář, esejista a spisovatel, který sympatizoval s levicí. Díla:
Farma zvířat (*Animal Farm*, 1945)
1984 (*Nineteen Eighty-Four*, 1949)
 - **John William Parkes Lucas Beynon Harris** (* 1903 – † 1969), pseudonym **John Wyndham**, britský spisovatel, psal post-apokalyptická sci-fi. Díla:
Den Trifidů (*The Day of the Triffids*, 1951)
 - **Robert Ervin Howard** (* 1906 – † 1936), známý americký spisovatel žánru fantasy, historických dobrodružných příběhů, hororů a westernů. Zakladatel podžánru fantasy – sword and sorcery (meč a magie). Díla:
Barbar Conan (*Conan the Barbarian*, 1932–1935) – některé povídky vyšly i později
 - **Robert Anson Heinlein** (* 1907 – † 1988), jeden z nejvlivnějších a nejkontroverznějších spisovatelů science fiction. Díla:
Hvězdná kolonie (*Farmer in the Sky*, 1950) – cena Hugo
Dvojník (*Double Star*, 1956) – cena Hugo
Dveře do léta (*The Door into Summer*, 1957)
Občan galaxie (*Citizen of the Galaxy*, 1957)
Metuzalémovy děti (*Methuselah's Children*, 1958)

- Hvězdná pěchota* (Starship Troopers, 1959) – cena Hugo
Cizinec v cizí zemi (Stranger in a Strange Land, 1961) – cena Hugo
- **Robert Merle** (* 1908 – † 2004), francouzský romanopisec, dramatik, literární historik, překladatel. Díla:
Malevil (Malevil, 1972)
 - **Pierre François Marie Louis Boule** (* 1912 – † 1994), francouzský spisovatel píšící válečné, špionážní dokumenty a sci-fi romány. Díla:
Planeta opic (La Planete des singes, 1963)
 - **Arthur Charles Clarke** (* 1917 – † 2008), britský autor sci-fi a vynálezce, přední představitel hard science fiction a technického optimismu. Díla:
2001: Vesmírná odysea a další pokračování (2001: The Space Odyssey, 1968)
Setkání s Rámou a další pokračování (Rendezvous with Rama, 1973) – Ráma je mimozemská vesmírná stanice.
Rajské fontány (The Fountains of Paradise, 1979) – popisuje zde vesmírný výtah.
 - **Frederik Pohl** (* 1919 – † 2013), americký autor science fiction. Díla:
Heechee celá série knih (Heechee, 1977–2004) – nejznámější je první kniha *Gateway*
Svět na konci času (The World at the End of Time, 1990) – popisuje relativistické efekty během pohybu hvězdného systému rychlostí blízkou rychlosti světla
 - **Franklin Patrick Herbert** (* 1920 – † 1986), americký spisovatel, více známý jako **Frank Herbert**. Díla:
Duna a další pokračování (Dune, 1965)
 - **Isaac Asimov** (* 1920 – † 1992), americký spisovatel a biochemik ruského původu. Díla:
Nadace celá série knih (series Foundation, 1951–1993) – příběhy o mezihvězdném impériu.
Já, robot (I, Robot, 1950)
Hra na honěnou (Runaround, 1942) – poprvé uvedeny tři zákony robotiky.
 - **Raymond Douglas Bradbury** (* 1920 – † 2012), americký romanopisec, povídkář, básník, esejista, autor mnoha scénářů a divadelních her. Napsal množství hororových povídek a sci-fi románů. Díla:
Martánská kronika (The Martian Chronicles, 1950)
451 stupňů Fahrenheita (Fahrenheit 451, 1953)
 - **Stanisław Lem** (* 1921 – † 2006), polský spisovatel, filozof, lékař, futurolog a satirik, světoznámý autor sci-fi. Díla:
Solaris (Solaris, 1961)
Hvězdné deníky (Dzienniki gwiazdowe, 1957)
Návrat z hvězd (Powrót z gwiazd, 1961)
 - **Arkadij Natanovič Strugackij** (* 1925 – † 1991) a **Boris Natanovič Strugackij** (* 1933 – † 2012), ruští spisovatelé, bratři. Díla:
Je těžké být bohem (Трудно быть богом, 1964)
Poledne, 22. století (Полдень, XXII век, 1962).
 - **Harry Maxwell Harrison** (* 1925 – † 2012), americký autor science fiction, kreslív a esperantista, který žil v mnoha zemích. Díla:
Ocelová krysa a další pokračování (The Stainless Steel Rat, 1961)

- Zajatý vesmír* (Captive Universe, 1969)
- **Ludvík Souček** (* 1926 – † 1978), český spisovatel science fiction zejména pro mládež a literatury faktu, v níž popularizoval tzv. záhadologické teorie. Díla:
Bratři černé planety (1970)
Operace kili (1970)
Případ jantarové komnaty (1970)
Cesta slepých ptáků celá série knih (1964–1968)
Tušení stínu (1974) – řeší zde záhady
 - **Poul William Anderson** (* 1926 – † 2001), americký spisovatel science fiction, jehož dílo přesahovalo do fantasy. Řadí se k autorům tzv. *Zlatého věku SF*. Díla:
Stráž času (Time Patrol, 1955–1995) – původním názvem *Strážci času*, později přejmenováno
 - **Josef Nesvadba** (* 1926 – † 2005), český lékař a spisovatel. Významný představitel science fiction. Díla:
Tarzanova smrt (1958)
Einsteinův mozek (1960) – sbírka, nejznámější povídka je *Blbec z Xeenemünde*
Absolutní stroj (1972)
 - **Anne Inez McCaffrey** (* 1926 – † 2011), americká spisovatelka fantasy a sci-fi. Díla:
Drakeni z Pernu (Dragonriders of Pern, 1968–2011) – jezdci na dracích ničí nebezpečné spóry
 - **Philip Kindred Dick** (* 1928 – † 1982), americký spisovatel science fiction. Díla:
Blade Runner: Sní androidi o elektrických ovečkách? (Do Androids Dream of Electric Sheep?, 1968)
Minority Report a jiné povídky (Minority Report, 2002)
Podivný ráj a jiné povídky (The Father-Thing, 1989)
 - **David Carroll Eddings** (* 1931 – † 2009), americký spisovatel fantasy literatury. Díla:
Belgariad celá série knih (Belgariad, 1982–1984)
Malloreon celá série knih (Malloreon, 1987–1991)
 - **Vladimír Páral** (* 1932), pseudonym **Jan Laban**, český spisovatel-prozaik. Díla:
Válka s mnohozvířetem (1983)
 - **Igor Vsevolodovič Mozejko** (* 1934 – † 2003), ruský historik a spisovatel sci-fi pro mládež. Díla:
Alenka z planety Země a další pokračování (Девочка с Земли, 1974)
 - **Piers Anthony Dillingham Jacob** (* 1934), anglický a americký spisovatel. Díla:
Xanth (Xanth, 1997–2015)
Incarnations of Immortality (1983–2007)
 - **Erich Anton Paul von Däniken** (* 1935) je kontroverzní švýcarský spisovatel a záhadolog. Díla:
Vzpomínky na budoucnost (Erinnerungen an die Zukunft, 1968)
 - **Robert Silverberg** (* 1935), spisovatel science fiction. Díla:
Muž v labyrintu (The Man in the Maze, 1969)

- **Wolfgang Jeschke** (* 1936), německý spisovatel a vydavatel literatury sci-fi. Díla:
Das Cusanus-Spiel (2005)
Poslední den stvoření (Der letzte Tag der Schöpfung, 1981) – inspirace pro počítačovou hru „Original War“
- **Roger Joseph Christopher Zelazny** (* 1937 – † 1995), americký autor fantasy a science fiction literatury. Řazen k autorům *Nové vlny*. Díla:
Amber celá série knih (The Chronicles of Amber, 1970–1991)
- **Laurence van Cott Niven** alias **Larry Niven** (* 1938), americký autor science fiction. Díla:
Prstenec (Ringworld, 1970) *Neutronová hvězda* (Neutron Star, 1968)
- **Leland Exton Modesitt, Jr.** (* 1943). Díla:
The Saga of Recluce (1994–2014)
- **Christopher Stasheff** (* 1944), americký autor science fiction a fantasy. Díla:
Čarodějem sobě navzdory celá série knih (The Warlock in Spite of Himself, 1969–2004)
- **Raymond Elias Feist** (* 1945), americký spisovatel. Díla:
Sága trhlinové války a další pokračování (Riftwar Saga, 1982–1986) – příběhy mága Puga
Hadí sága a další pokračování (Serpentwar, 1994–1998)
Sága impérium a další pokračování (Empire trilogy, 1987–1992)
- **Ondřej Neff** alias **Aston** (* 1945), český spisovatel science fiction a novinář, vydavatel internetového deníku *Neviditelný pes*. Díla:
Pán modrého meče celá série knih (1984–1991) – první povídka *Jádro pudla*
Arkádie celá série knih (1988–2009)
Něco je jinak (1981) – dějiny české sci-fi
Tři eseje o české sci-fi (1985)
Všechno je jinak (1987) – dějiny světové sci-fi
- **Václav Semerád** (* 1945), český spisovatel. Díla:
Ságy Galaktického Společenství (1990–2002)
OMÍOR (válka světů) (1993)
- **Philip Pullman** (* 1946), britský spisovatel, autor několika nejlépe prodávaných knih. Díla:
Jeho temné esence trilogie (His Dark Materials, 1995–2000) – nejznámější díl je „Zlatý kompas“
- **Terry Goodkind** (* 1947) je americký spisovatel, autor epické fantasy série *Meč Pravdy* (The Sword of Truth, 1994–2013).
- **Stephen Edwin King** (* 1947), americký spisovatel hororů, jeden z nejproduktivnějších a čtenářsky nejúspěšnějších autorů současnosti. Díla:
Carrie (Carrie, 1973)
To (It, 1986)
Zelená míle (The Green Mile, 1996)
Mlha (Skeleton Crew, 1985)
Temná věž a další pokračování (The Dark Tower, 1982)

- **David Gemmell** (* 1948 – † 2006), anglický spisovatel fantasy literatury. Díla: *Drenajská sága* a další knihy (Drenai Series, 1984–2004)
- **James Oliver Rigney** (* 1948 – † 2007), pseudonym **Robert Jordan**. Díla: *Kolo času* celá série knih (The Wheel of Time, 1990–2007)
- **William Ford Gibson** (* 1948), jeden z nejznámějších autorů kyberpunku. Díla: *Johnny Mnemonic* (Johny Mnemonic, 1981)
Neuromancer (Neuromancer, 1984)
- **Terence David John Pratchett** (* 1948), anglický autor fantasy. Díla: *Úžasná Zeměplocha* celá série knih (Discworld, 1983–2013) – a víceméně příběhy kouzelníka Mrakoplaše (spíš méně než více)
Strata (Strata, 1981), sci-fi, v němž se poprvé objevuje myšlenka Zeměplochy
- **George Raymond Richard Martin** (* 1948), americký spisovatel sci-fi a fantasy, vystudoval žurnalistiku. Díla: *Píseň ledu a ohně* celá série knih (A Song of Ice and Fire, 1996–2011) – nejznámější je první díl „Hra o trůny“, celá série je také zfilmovaná pod tímto názvem
- **Andrzej Sapkowski** (* 1948), polský spisovatel, který je považován za jednoho z nejlepších autorů slovanské fantasy. Je velice populární nejen v Polsku, ale také v ostatních evropských zemích. Díla: *Zaklínač* celá série knih (The Witcher, 1990–1999) – příběhy o Geraltovi z Rivie a princezně Ciri
- **Dan Simmons** (* 1948), americký spisovatel science fiction a hororu. Díla: *Kantos Hyperionu* celá série knih (Hyperion Cantos, 1989–1998)
- **Orson Scott Card** (* 1951), jeden z nejznámějších amerických spisovatelů. Díla: *Enderova hra* a další pokračování (Ender's Game, 1985)
- **Douglas Noël Adams** (* 1952 – † 2001), anglický spisovatel, dramatik humoristických rozhlasových pořadů a hudebník. Díla: *Stopařův průvodce Galaxií* celá série knih (The Hitchhiker's Guide to the Galaxy, 1979)
Holistická detektivní kancelář Dirka Gentlyho (Dirk Gently's Holistic Detective Agency, 1987)
- **William King** (* 1959), britský spisovatel působící v žánru science-fiction a fantasy. Jde o autora cyklu o Gotrekovi a Felixovi ze světa Warhammeru a autorem série Hvězdný vlk ze světa Warhammer 40 000. Warhammer je strategická desková hra.
- **Steve Rune Lundin** (* 1959), pseudonym **Steven Erikson**, kanadský spisovatel žánru fantasy a také sci-fi. Vystudoval antropologii a archeologii. Díla: *Malazská kniha padlých* celá série knih (Malazan Book of the Fallen, 1999–2012)
- **Jan Drnek** (* 1960), přezdívka **Akela**, spisovatel, vychovatel, tramp. Píše historické mystifikace. Díla: *Žáby v mlíku* (2007)
Druhý dech habsburské monarchie (2007)
Mystifikované dějiny národa českého (2009)

- **Neil Richard MacKinnon Gaiman** (* 1960), anglický žurnalista, jinak spisovatel se zaměřením na sci-fi a fantasy. Díla:
Sandman celá komiksová série (Sandman, 1989–2009)
Hvězdný prach (Stardust, 1997–1998)
- **Vladimír Šlechta** (* 1960), český spisovatel žánru science-fiction a fantasy. Díla:
Postkatastrofický cyklus celá série knih (1993–2013) – první povídka
Legendární zbraň
- **Richard Alen Knaak** (* 1961), americký autor fantasy, který píše pro Blizzard Entertainment, což je společnost vyvíjející a publikující počítačové hry. Díla:
Dragonlance celá série knih (Dragonlance, 1988–2009)
Diablo celá série knih (Diablo, 2001–2007)
Warcraft celá série knih (Warcraft, 2001–2013)
- **Joanne Kathleen Rowling** (* 1965), britská spisovatelka. Díla:
Harry Potter celá série knih (Harry Potter, 1997–2007)
- **Jiří Kulhánek** (* 1967), český autor. Díla:
Noční klub (2002–2003) – dva díly příběhů upíra Tobiáše
Divocí a zlí (1999–2000) – čtyři knihy o pilotovi Patejlovi ze 24. století
Cesta krve (1996–1997) – dva díly s podnázvem *Dobrák a Cynik*
- **Sergej Vasiljevič Lukjaněnko** (* 1968), ruský spisovatel, autor převážně fantastických románů a povídek. Díla:
cyklus Hlídky celá série knih (Дозор, 1998–2014)
- **Robert Fabian** (* 1969), český spisovatel píšící převážně military science-fiction, jeho skutečné jméno není známo. Díla:
Carpe Diem (2005)
- **Miroslav Žamboch** (* 1972), český autor fantasy a science fiction. Díla:
Poslední bere vše (2000)
- **Juraj (Ďuro) Červenák** (* 1974), pseudonym **Thorleif Larssen**, slovenský spisovatel. Je znám jako úspěšný autor fantasy děl, filmový recenzent a redaktor časopisů *Fantázia*, *Pevnost* a *DVD mag*. Díla:
Conan (Conan, 1994–2004)

3.2 Přehled využití sci-fi a fantasy pro výuku fyziky

3.2.1 Internetové zdroje zabývající se fyzikou ve sci-fi a fantasy filmech či literatuře

Po krátkém pátrání na internetu lze nalézt web, který se věnuje filmům všech žánrů. Jméno webu je „Česko–Slovenská filmová databáze“ [14]. Tento web je možné využít pro hledání inspirace. Jeho výhodou je možnost zobrazit si žebříček filmů či seriálů podle žánru, typu, roku vydání atd.

Z výsledků dotazníkového průzkumu, vizte sekci 4.2, totiž vyplývá, že čím starší je film a čím má méně repríz v televizi, tím ho veřejnost zná méně. Proto možnost vyhledávání filmů dle oblíbenosti je velmi žádoucí.

Databázi knih lze najít na webu „**LEGIE – databáze knih Fantasy a Sci-Fi**“ [11]. V této databázi lze především vyhledávat díla dle jména autora.

Zajímavá kniha zabývající se fyzikálními zákony je „**Zábavná fyzika**“ [15], autorem je J. I. Perelman.

Dalším zajímavým webem zabývajícím se nápady a vynálezy ze světa science fiction je web nesoucí jméno „**Glossary of Science Fiction Ideas and Inventions**“ [16]. Pro rozšíření práce v budoucnu by určitě bylo možné tento web využít, neboť obsahuje jak jména autorů, tak i názvy děl, úryvky a roky publikace.

Některé nápady a názvy vynálezů je velmi zajímavé srovnat s pojmenováním pozdějších autorů. Při prohlížení tohoto webu je možné narazit na názvy, které se v dnešní sci-fi literatuře a filmu vyskytují v odlišném kontextu než v původních dílech, v nichž jsou poprvé publikovány. Při letmém srovnání si nelze nevšimnout, že názvy vynálezů se jistým způsobem standardizují a zároveň je lze řadit do jistých kategorií.

Po delším hledání lze objevit i několik stránek a textů věnujících se podobnému tématu, jako je téma této práce.

Jedna z těchto stránek se jménem „**Science Fiction Stories with Good Astronomy & Physics: A Topical Index**“ [17] se zabývá soupisem autorů, děl a krátkým popisem z pohledu využití sci-fi ve výuce astronomie. Z textů, které se zabývají možnostmi využití sci-fi v hodinách fyziky a chemie bych určitě zmínil texty Connie Willise, Davida Katze a Courtney Willise [18]. V několika textech je uvedeno, v jakých souvislostech a v kterých hodinách by bylo možné citovat některé z vybraných sci-fi. Uvedené texty se zabývají nejen literárními díly, ale i filmy. Sám David Katz sepsal text „**Science and Science Fiction**“ [19], kde rozebírá sci-fi z pohledu chemie.

Jedním z autorů, kteří se zabývají popisem fyziky ve sci-fi literatuře je Mgr. Jaroslav Reichl, některé vybrané příklady z „**Panské fyziky**“ [20] lze nalézt v „**Souhrnném sborníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky**“ [21]. Autor zde předkládá úryvky z některých vybraných knih a přidává několik otázek, které by bylo zajímavé vyřešit. Další ukázky je možné dohledat v maturitní práci z aplikované informatiky Jana Huňka [22], který práci psal pravděpodobně pod vedením Mgr. Jaroslava Reichla. Tyto texty jsou velmi podobné textům, které jsou zpracovány v této práci. Bylo by jistě možné je převzít a rozpracovat podrobněji, bohužel se jedná pouze o literární díla, kterých se zde vyskytuje minimálně.

Dalším zajímavým počinem jsou úlohy publikované ve Fyzikálním korespondečním semináři, a to v páté sérii jedenadvacátého ročníku „**FYKOS**“ [23]. Zde je rozebrána vesmírná loď jménem „**Ráma**“, kterou popsal ve své tetralogii Sir Arthur Charles Clarke. Musím přiznat, že v knize „**Setkání s Rámou**“ [24] jsou velmi pěkně popsány fyzikální zákony.

Jedním z největších popularizátorů fyziky zabývajícím se sci-fi filmy a knihami je bezesporu Dr. Michio Kaku. Ve své knize „**Fyzika nemožného**“ [25] popisuje a vysvětluje patnáct příkladů inspirovaných sci-fi příběhy. V textu se nezaměřuje pouze na konstatování faktů, ale snaží se je názorně vysvětlit. Dr. Michio Kaku zároveň vystupuje v televizním dokumentu „**Sci-Fi Science: Physics of the Impossible**“ (režie Fred Hepburn), kde divákům populárně vysvětluje možná fyzikální řešení některých námětů

ze sci-fi filmů. Seriál určitě stojí za zhlédnutí, neboť je velmi poutavý. Zatím byly natočeny dvě série po dvanácti dílech, každý má délku 23 minut.

Další internetové zdroje je možné rozdělit do dvou proudů. První se zaměřuje na pouhý popis zajímavostí či nesrovnalostí ve sci-fi povídkách či filmech, druhý se pak snaží o fyzikální zdůvodnění, popis či vyvrácení.

Mezi stránky patřící do prvního proudu je možné zařadit text nesoucí název „**The Physics Hypertextbook**“ [26] od Glena Elerta, kde autor uvádí pět nesrovnalostí ve sci-fi filmech.

Dalším textem je „**Newtonian Physics in Science Fiction Movies and TV: the Good, the Bad, and the Ugly**“ [27] autorem je profesor Robert A. Knop. V tomto textu je popsáno a rozbráno šest filmů. Text je určen široké veřejnosti, a proto se v něm autor nezabývá podrobnějšími výpočty, ale spíše jen popisuje nesrovnalosti.

Na stránkách „**Science fiction & Fantasy writers of America**“ Mike Brotherton předkládá čtenářům článek „**Ten Classic Hard Science Fiction Novels featuring Physics and Astronomy**“ [28], kde pouze poukazuje na některé zajímavosti ze sci-fi knih. Bohužel zde chybí jakákoliv úvaha nad správností.

Ve stejném duchu jsou popisovány sci-fi knihy na stránkách „**Science Fiction for Physics Students**“ [29], kde autoři Thomas Seay a Nathaniel Williams uvádí jedenáct povídek s popisem, ve kterých hodinách fyziky by je bylo možné využít.

Z prvního proudu je nutno ještě představit dvě stránky zabývající se pouze shrnutím některých bodů, kde sci-fi filmy či knihy porušují některé zákony. Na stránce „**Sci-fi Laws Of Physics**“ [30] si Thomas Solomon dělá legraci ze sci-fi příběhů a uvádí deset zákonů, kterými se sci-fi příběhy řídí. Druhá z uvedených stránek „**The 50 Laws of Science Fiction Physics**“ [31] popisuje padesát předpisů, kterými se řídí sci-fi příběhy. Některé body by se daly velmi zajímavě zdůvodnit jak z pohledu psychologického, tak z pohledu fyzikálního.

Mnohem zajímavější a užitečnější je druhý proud, do něhož lze zařadit stránky zabývající se zdůvodněním některých ukázek, případně zpracované ukázky sci-fi románů či filmů pro výuku fyziky.

Jednou z nejzajímavějších stránek, kterou lze na internetu nalézt, je stránka „**Teachers Institute of Philadelphia**“ [32]. Zde je zpracováno několik studijních textů, v nichž je didakticky rozebráno mnoho sci-fi románů a filmů. Studijní texty jsou velmi pečlivě zpracovány a jsou zde velmi pěkně popsána možná využití sci-fi příběhů v hodinách fyziky. Za zmínku stojí, že „**Teachers Institute of Philadelphia**“ je projekt Pensylvánské univerzity, který si klade za cíl vytvoření osnov a učebních plánů pro učitele státních škol ve Philadelphii, a tak zlepšit kvalitu výuky na těchto školách. Je zde také snaha o povzbuzení zájmu učitelů o využití spolupráce s univerzitou ve Philadelphii.

Mezi další internetové stránky popisující fyziku ve sci-fi příbězích lze zařadit prezentaci „**Physics in Science Fiction**“ [33]. Zde Andrew E. Love popisuje gravitaci prstencového světa (Ringworld) a dalších zajímavostí z knih Larryho Nivena. Jsou zde použity složitější výpočty a svým zpracováním lze tuto prezentaci zařadit do kategorie velmi zdařilých.

Méně zdařile vypadají stránky „**Insultingly Stupid Movie Physics**“ [34] Toma Rogerse. Zde autor třídí některé filmy do různých kategorií a vysvětluje správné či špatné části filmových ukázek. Ukázek je zde velmi mnoho.

Zajímavý je také blog „**The Physics of Science Fiction**“ [35]. Pravděpodobným autorem je Bryna Oi. Zde jsou rozebrány a fyzikálně popsány některé scény ze seriálu „Star Trek: The Next Generation“. Obdobný je text Johnatana Alldaye „**Science in science fiction**“ [36], kde je rozebrán transporter ze Star Treku a gravitace na stanici „Babylon 5“.

Za zmínku určitě stojí webová stránka mající stejný název jako předešlá „**The Physics Of Science Fiction**“ [37], autorem je Michelle. Jedná se o jistý studentský projekt, ve kterém se autor snaží vysvětlit některé zajímavosti ze sci-fi knih, dotyčný bohužel o fyzice neví vůbec nic. Tato stránka je odstrašujícím příkladem selhání edukačního systému ve Spojených státech.

Velmi zajímavým shledávám výzkum „University of Central Florida“, který je shrnut v článku „**Cinema as a Tool for Science Literacy**“ [38] od Costase Efthimiou a Ralpa A. Llewellyna. Zde je rozebrán výzkum, kde se zkoušelo využít filmů pro výuku fyziky. Z výzkumu plyne, že skupina studentů motivovaná tímto programem byla mnohem úspěšnější při skládání zkoušek než srovnávací skupina. Je zde také několik odkazů na další podobné projekty. Článek byl do češtiny přeložen a komentován Jiřím Svrškem pod názvem „**Filmy jako nástroj vědecké gramotnosti**“ [39].

Neméně zajímavou prací je bakalářská práce Petry Fědorové „**Fyzika ve filmu**“ [40]. Zde autorka zpracovala sedm velmi pěkných ukázek fyzikálních prohrěšků v několika fantasy a sci-fi filmech. Dalším zajímavým počinem je webová stránka „**Fyzika ve filmech**“ [41], autorem je pravděpodobně Jiří Meloun, kde jsou opět pěkné fyzikální příklady motivované filmem.

Tím lze zakončit tento letný přehled již zpracovaných textů zabývajících se sci-fi literaturou či filmy. Na internetu samozřejmě existuje mnohem více odkazů, ale nelze předpokládat, že by zde mohly být všechny vůbec kdy představeny.

3.2.2 Využití sci-fi a fantasy v učebnicích fyziky

Po prostudování několika různých sbírek úloh z fyziky a učebnic fyziky pro střední školy je bohužel smutným zjištěním, že pouze malé množství fyzikálních úloh se týká nějakých praktických uplatnění. Příkladů či úloh zabývajících se tématem, které může student znát ze svého okolí nebo svých zájmů, jako jsou televize, video, počítačové hry či knihy, je ve sbírkách a učebnicích ještě méně. Je celkem zřejmé, že má-li student počítat jemu samotnému nic neříkající příklady, pak jeho motivace bude s každým dalším příkladem menší. Bohužel nebývá obvyklé, že student je motivován úspěchem z vyřešení početní nebo úvahové úlohy. Na následujících řádcích budou pro zajímavost shrnuty počty příkladů a úloh s tématem science fiction či fantasy a počty úloh, ve kterých v zadání byla zmínka o praktickém užití. Knihy jsou alespoň orientačně řazeny chronologicky.

U příkladů a úloh bude pozornost zaměřena na tři kritéria.

1. Text zadání obsahuje odkaz na sci-fi či fantasy literaturu či film, případně na nějaký objekt nebo děj z toho žánru.
2. Text zadání popisuje jen praktické využití, nejsou zde žádné další informace.
3. Text zadání obsahuje nějaké informace navíc, které pro řešení nejsou důležité, ale jistým způsobem vysvětlují praktické využití nebo informují o zajímavostech spojených s výpočtem.

Texty, ve kterých se nevyskytuje ani jeden z výše uvedených bodů, budou hodnoceny (z pohledu studenta) jako nezajímavé.

V knize „**Fyzika s příklady a úlohami**“ [42] nejsou žádné úlohy ani příklady odkazující na science fiction. Příklady jsou zde voleny většinou z praxe a obsahují rozšiřující informace nad rámec běžného učiva. Úloh z praxe není mnoho. Kniha obsahuje 741 úloh a 171 příkladů.

V knize „**Fyzika v příkladech**“ [43] opět není žádná úloha zabývající se sci-fi. Jedná se o starší knížku, proto není překvapivé, že v souboru zhruba 850 příkladů se nacházejí dnes již zastaralá slova jako žentour, biograf a další. Jen málo příkladů obsahuje nějaké rozšiřující informace v zadání.

Velmi zajímavá je „**Sbírka příkladů z fyziky**“ [44]. V této sbírce jsou teorie a úlohy vhodné především na vysokou školu, úlohy vesměs popisují praktické využití a většina příkladů obsahuje informace nad rámec zadání. Úlohy zabývající se science fiction či fantasy zde nejsou, ale několik úloh odpovídá svým zadáním úlohám, které jsou v této práci zpracovány. Kniha obsahuje 1000 úloh a je nutno přiznat, že většina úloh dokáže čtenáře zaujmout.

Ve sbírce „**Sbírka úloh z fyziky pro žáky středních škol**“ [45] opět není ani jeden odkaz na sci-fi či fantasy tematiku. Sbírka obsahuje 1607 úloh a příkladů, většina jich je zaměřena prakticky a zároveň zadání obsahuje velmi často nějaké zajímavosti. Jsou zde i některé úvahové úlohy, které se vyskytují v novodobějších sbírkách. Sbírka překvapivě obsahuje i kapitolu „Orientace na obloze a měření času“, která je velmi poutavá. Navzdory svému stáří je sbírka použitelná i v dnešní době.

Ve čtyřdílném vydání „**Cvičení z fyziky pro I. až IV. ročník gymnázií**“ [46–49] je jen zmínka o počítačové hře přistání na Měsíci a ve čtvrté knize pak krátká filozofická úvaha nad existencí inteligentních mimozemšťanů. V první knize určené pro první ročníky gymnázií [46] je 9 řešených příkladů a 158 úloh, ve druhé knize určené pro druhé ročníky gymnázií [47] je 51 řešených příkladů a 104 úloh. Téměř všechny příklady a úlohy v zadání popisují praktické měření. Třetí kniha [48] obsahuje 32 řešených příkladů a 115 úloh. V této knize jsou příklady a úlohy voleny především jako procvičení početních operací, v zadáních je velmi málo informací týkajících se praktického užití. Ve čtvrté části věnované čtvrtým ročníkům gymnázií [49] je 29 řešených příkladů a 97 úloh, zadání zde opět popisují praktické aplikace.

V textech učebnice „**Vybrané kapitoly z fyziky**“ [50] nejsou žádné zmínky o sci-fi či fantasy žánru. Učebnice celkem obsahuje 63 řešených příkladů a 217 úloh. Úlohy jsou jak početní, tak i úvahové, většina příkladů i úloh je volena z praktického života a najdou se zde jak složitější úvahové úlohy, tak i úlohy a příklady se zajímavými informacemi nad rámec zadání.

V knize „**Základy elektrotechniky v příkladech a úlohách**“ [51] nelze najít ani jediný zajímavý příklad nebo úlohu. Všechna zadání úloh a příkladů jsou určena pouze k procvičení výpočtů. V knize je 112 příkladů a 377 úloh. Tuto knihu lze označit za opravdu nezajímavou.

Ve sbírce „**500 testových úloh z fyziky**“ [52] je pouze v jedné úloze zmínka o kosmické lodi. Úloh obsahující text o použití v praxi je zde jen několik: krasobruslař a jeho moment setrvačnosti, fotografování a změna ohniska na starším typu fotoaparátu. Jak název napovídá, je zde 500 testových úloh, většinou se jedná o zadání se čtyřmi možnými odpověďmi.

V učebnici „**Mechanika**“ [53] se v kapitole „Dynamika hmotného bodu“ nachází odkaz na Tarzana. Asi pět příkladů obsahuje informace nad rámec výuky. Z těchto pěti jsou nejzajímavější tři, příklad na Hookův zákon obsahuje zmínku o bungee jumpingu, v příkladu na Newtonův gravitační zákon je zmínka o umělém tíhovém poli vytvořeném na vesmírné lodi tvaru válce a v příkladu zabývajícím se Bernoulliovou rovnicí je popisována aplikace léčiva v injekci stojící žirafě. Učebnice obsahuje celkem 74 příkladů, 65 úloh a 75 kontrolních otázek. Text je mírně nepřehledný vzhledem k různému řádkování, kladem jsou však obrázky doplněné velmi vtipnými texty.

Ve čtyřdílném vydání „**Sbírka řešených úloh z Fyziky pro střední školy**“ [54–57] lze v kapitole mechanika nalézt úlohu na rovnoměrně zrychlený pohyb, kde se autor odkazuje na Julese Verna. Ve čtvrtém díle pak byla v jedné úloze zmínka o přistání Aldrina a Armstronga na Měsíci. Příkladů či úloh z běžného života je možné napočítat velmi málo. Jedná se o úlohu ladění rádia, určení stáří dřeva radioizotopovou metodou, triangulace v geodezii, určování výšek budov a kopců, spotřeba rychlovarné konvice. Většina příkladů je i zde bohužel pro dnešního studenta jen pouhým zadáním bez vztahu k reálnému životu. První díl [54] obsahuje 188 úloh, ve druhém díle [55] je 181 úloh, ve třetím díle [56] 218 úloh a ve čtvrtém díle [57] 166 úloh.

V učebnici „**Fyzika**“ [58] není žádný příklad ani úloha zmiňující nějakou zajímavost z žánru science fiction či fantasy. Příklady obsahující nějaké informace navíc se nacházejí až ke konci knihy, a to v kapitole atomová fyzika, kde byl zmíněn a popsán Franckův-Hertzův pokus, určení stáří člunu v hrobce faraona a popis Comptonova jevu. Ze 105 příkladů, 96 úloh a 181 kontrolních otázek byla drtivá většina zadání nezáživná.

Ve sbírce „**Sbírka testových úloh k maturitě z fyziky**“ [59] se opět nenachází žádná úloha zabývajícím se science fiction. Úlohy jsou skoro v polovině případů blízce spjaty s praktickými aplikacemi. Je zde vidět snaha o modernizaci a aktualizaci úloh (například baterie mobilního telefonu a jiné). Sbírka obsahuje 366 testových úloh.

Knihy „**Sbírka úloh z fyziky pro střední školy**“ [60] opět neobsahuje ani jednu úlohu zabývajícím se science fiction nebo fantasy. V kapitole „Speciální teorie relativity“ je sice několik úloh popisujících vesmírné lodě, ale není zde odkaz na žádnou knihu ani film. Sbírka obsahuje 1226 úloh a 110 řešených příkladů. Vzhledem ke zkušenostem, které má autor se sbírkami úloh a příkladů je nutno konstatovat, že jsou zde použité úlohy z předchozích sbírek. Úlohy popisují praktické aplikace a některé z nich obsahují i zajímavé informace nad rámec zadání. Sbírku lze označit za zajímavou a inspirující.

V učebnici „**Fyzika I pro střední školy**“ [61] se nachází pouze teoretická úloha zabývajícím se umělou tíží na kosmických stanicích, bohužel zde nebyl odkaz na literaturu ani film. Učebnice obsahuje 30 příkladů, 347 úloh a na konci každé kapitoly jsou otázky k opakování, těch je celkem 248. Úlohy jsou zaměřené prakticky. Podobné úlohy lze najít ve starších učebnicích.

V učebnici „**Fyzika II pro střední školy**“ [62] se nachází hned několik odkazů na sci-fi literaturu či film. Ve dvanácté kapitole je odkaz na film „Císařův pekař“, úloha se zabývá rozbíjením atomu. Ve třinácté kapitole je pak v zadání jedné úlohy odkaz na nejmenované sci-fi romány o cestování k jiným souhvězdím. V knize lze také nalézt úlohu, která v zadání vybízí k vyhledání informací o kosmických sondách v literatuře, časopisu či na internetu. Jedna z řešených úloh překvapuje zadáním, v úloze je popisován princip funkce doutnavkové zkoušečky (fázovky). V učebnici je celkem 11 řešených příkladů, 286 úloh a na konci každé kapitoly jsou otázky k opakování, těch

lze napočítat celkem 299. Úlohy jsou zaměřené prakticky. Podobné úlohy lze najít ve starších učebnicích, jejichž autorem je Oldřich Lepil.

Jako bezkonkurenčně nejlepší učebnice lze označit pětidílné vydání „**Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky**“ [63–67] od Davida Hallidaye. **První část** [63] se zabývá mechanikou, obsahuje celkem 131 řešených příkladů, 917 úloh a 160 otázek, v nichž jsou odkazy na Tarzana, řeší se zde odražení kulek od Supermana, je zde odkaz na Galileovo dílo „Rozpravy o dvou nových vědách“ a zadání některých úloh jsou typu: „Odhadněte rychlosti v závodu vesmírných lodí“ nebo „Jaká síla působí na kosmickou loď se sluneční plachtou?“ **Druhá část** [64] se zabývá mechanikou a termodynamikou, obsahuje celkem 83 řešených příkladů, 710 úloh a 123 otázek, v nichž se například počítá hmotnost astronauta ve vesmíru, je zde popsán Venturiův průtokoměr. Dále se zde řeší otázka „Proč nosí beduíni černé hábity?“ a je zde uvedeno mnoho zajímavých úloh na teplo. **Třetí část** [65] se zabývá elektřinou a magnetismem, obsahuje celkem 93 řešených příkladů, 859 úloh a 205 otázek, v nichž se řeší fungování inkoustové tiskárny, elektrické kytary nebo elektroplaxů úhoře. Dále je zde popsán housenkový pohon ponorek, archeologické využití magnetických domén, možnosti hypotetického vlaku na magnetický pohon. Je zde také popis nabití lidského těla nábojem při chůzi po koberci a rozbor nábojů kvarků. **Čtvrtá část** [66] se zabývá elektromagnetickými vlnami, optikou a relativitou, obsahuje celkem 34 řešených příkladů, 370 úloh a 76 otázek, v nichž jsou úlohy zabývající se vesmírnými loděmi poháněnými laserem, jezerními příšerami, filmem „Jurský park“ a supermanovým rentgenovým zrakem. Dále jsou zde popsána například motýlí křídla a tvorba jejich barvy, optické vlastnosti oka, vzdalování kvasarů a mnoho dalšího. **Pátá část** [67] se zabývá moderní fyzikou, obsahuje celkem 52 řešených příkladů, 439 úloh a 112 otázek, v nichž je posáno fungování rastrového tunelového mikroskopu, kvantové tečky a kvantových hradeb, radioaktivního datování na základě uhlíku a olova. Dále je zde uvedena například úloha popisující vesmír s jinou Planckovou konstantou nebo Moseleyova práce a její význam pro řazení chemických prvků do periodické tabulky.

Z nových učebnic fyziky stojí za povšimnutí především čtyři díly učebnic „**Fyzika 6,7,8,9: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia**“ [68–71], jejichž autorem je Karel Rauner a kolektiv. V těchto učebnicích lze najít jak odkazy na moderní technologie, tak i na science fiction literaturu.

Kapitola 4

Statistické vyhodnocení dotazníkových šetření

Pro účely této práce bylo nutné provést hned několik krátkých průzkumů. Prvním byl rozhovor s několika kolegy a kolegyněmi na VOŠ a SPŠE v Plzni. Z tohoto orientačního průzkumu vyplynulo, že zpracovat fyzikální rozbor některých filmových ukázek by určitě bylo vítané.

Následně byl proveden rozbor výsledků „**Třetího mezinárodního výzkumu matematického a přírodovědného vzdělávání**“ (Third International Mathematics and Science Study), zkratka TIMSS, jehož zastřešující organizací je IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement) [72]. Jako směrodatný byl vybrán výzkum z roku 1995, kde byla podstatná část otázek, které byly pro práci určující. Výzkum byl tehdy proveden celkem ve 43 zemích na studentech ve věku 13 let, to jest sedmého a osmého ročníku základní školy. V České republice se výzkumu zúčastnilo přes 3200 žáků.

Zájem rozboru by především kladen na to, jak často studenti: čtou knihy, sledují filmy v kinech a televizi a jak často užívají počítač v hodinách fyziky. Z dotazníkového průzkumu tehdy vyplynulo, že asi jedna pětina respondentů vůbec nečte a dvě pětiny čtou méně než jednu hodinu denně. Knihu nebo časopis čtou (pokud vůbec čtou) dvě pětiny asi každý den, třetina respondentů si knihu nebo časopis přečte alespoň jednou týdně. Do kina nejčastěji chodí jednou měsíčně či pouze zřídka.

To, co je zajímavé, je dotazníkové šetření ohledně sledování filmů v televizi. Více jak dvě třetiny respondentů sleduje komedie, dobrodružné nebo napínavé filmy každý den, zbytek respondentů se na celovečerní filmy dívá alespoň jednou týdně. Naproti tomu dokumenty v televizi sledují každý den jen dvě pětiny a jedna třetina jen jednou týdně, jedna pětina zřídka.

Přes 90 % dotazovaných uvádí, že v hodinách fyziky nikdy nepoužívají počítač.

Z tohoto výzkumu je celkem zřejmé, že zájmy studentů by bylo velmi žádoucí využít. Vezmeme-li v úvahu, že ve stejném výzkumu na otázku, zda mají rádi fyziku, polovina dotázaných odpověděla, že „nemá“ nebo „vůbec nemá“, pak je logické pokusit se oslovit a motivovat právě tyto studenty. Jak je také vidno, nejpříjemnějším způsobem jsou právě filmy.

Poznámka 1 Čistě ze zvědavosti bylo provedeno porovnání znalostí maturantů z roku 1978 se znalostmi získanými z výzkumu TIMSS z roku 1995. Otázky, které byly porovnávány si navzájem jen hrubě korespondují, přesto zde byla nalezena podobnost.

Zjednodušeně lze říci, že otázky se zabývaly tématy:

1. **otázka** Rovnoměrný přímočarý pohyb.
2. **otázka** Rovnoměrný přímočarý pohyb a jeho graf.
3. **otázka** Těleso v klidu.
4. **otázka** Rovnoměrně zrychlený pohyb.
5. **otázka** Kmitavý pohyb.

Je pravdou, že vzorek studentů byl v obou výzkumech také rozdílný. V publikaci „**Fyzikální vědomosti našich studentů**“ [73], jsou testováni maturanti, nikoliv žáci základní školy. Z porovnání však je možné zjistit, že znalosti studentů nejsou významně rozdílné. (Rozhodnutí bylo provedeno na hladině významnosti 0,05 v závislosti na výsledku nepárového t -testu pro shodné rozptyly s výsledkem $t = 1,436$, přičemž kritická hodnota t -testu byla $t_{krit} = 2,306$. Shodnost rozptylů byla potvrzena f -testem, vizte tabulku 4.1.) Z výše uvedeného lze předpokládat, že příčinou nechuti studovat fyziku je u studentů pravděpodobně nízká motivace.

Tabulka 4.1 Hodnoty procentuální úspěšnosti studentů u pěti podobných otázek z roku 1978 a z roku 1995. Otázky vizte v poznámce 1.

otázka	úspěšnost v roce 1978	úspěšnost v roce 1995
1. otázka	71,4 %	88,0 %
2. otázka	93,2 %	86,6 %
3. otázka	26,4 %	53,0 %
4. otázka	55,2 %	75,0 %
5. otázka	47,0 %	84,0 %

4.1 Předvýzkum

Předvýzkum byl proveden na podzim roku 2010 na 29 studentech prvního ročníku Fakulty pedagogické v Plzni na Západočeské univerzitě. Studentům bylo tehdy položeno 16 otázek, na které měli odpovědět nejlépe jednou větou. Zpracováno bylo však pouze 9 z 16 položených otázek, neboť 7 otázek bylo buď nevhodně formulovaných, nebo tyto otázky neměly valný význam pro udání směru této práce.

Prvních pět otázek mapovalo znalosti ze střední školy, zbylé čtyři otázky měly za úkol zjistit představy respondentů o některých pojmech vyskytujících se ve sci-fi filmech.

Cílem předvýzkumu bylo zjistit, jak moc jsou studenti po maturitě ovlivněni filmy a co si pamatují z hodin fyziky na střední škole.

Otázky předvýzkumu:

1. Jaká je nejvyšší rychlost, které může hmotný stroj podle teorie relativity dosáhnout?

2. Kolik planet je ve Sluneční soustavě? Vyjmenujte je.
3. Co je to horizont událostí a kde ho najdeme?
4. Vysvětlete, co znamená pojem paradox dvojčat.
5. Jaké jsou podle vás dva největší problémy při cestování rychlostmi o málo menšími, než je rychlost světla?
6. Jakým způsobem funguje cestování hvězdnou bránou?
7. Jakým způsobem funguje warp pohon?
8. Kterých maximálně deset věcí byste si s sebou vzali na cizí planetu?
9. Jakým argumentem byste podpořili nebo vyvrátili tvrzení: „I na jiných planetách by měl být život.“

Ve vzorku respondentů bylo 19 mužů a 10 žen.

Na otázku číslo 1 odpovědělo správně 25 respondentů, 4 respondenti neznali odpověď. Za správnou odpověď byla považována jakákoliv odpověď, která popisovala rychlost světla.

Na otázku číslo 2 odpovědělo správně 24 respondentů, 5 respondentů mezi planety Sluneční soustavy zahrnuje i Pluto. Tento omyl byl celkem předvídatelný, neboť Pluto bylo překlasifikováno na trpasličí planetu teprve v roce 2006 na 26. valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Praze. Před tímto rokem bylo řazeno mezi planety.

Na otázku číslo 3 odpovědělo správně pouze 6 respondentů, 23 respondentů buď nevědělo, nebo se odkazovalo na film nesoucí stejný název. Za správnou odpověď byla považována zmínka o hranici černé díry.

Na otázku číslo 4 odpovědělo správně pouze 5 respondentů, 24 respondentů buď nevědělo nebo odpovědělo zcela nesprávně. Je zajímavé, že správné odpovědi na otázky číslo 3 a 4 spolu nesouvisely, ačkoliv zde byl očekáván vztah. Za správnou odpověď byly považovány odpovědi, v nichž byla zmíněna teorie relativity.

Na otázku číslo 5 odpovědělo celkem 20 respondentů, 9 respondentů neodpovědělo. Při vyhodnocování této otázky bylo nutné uznat alespoň jeden popisovaný problém, neboť ne všichni uvedli dva problémy. Z odpovědí byly za správné považovány zmínky o narůstající hmotnosti (5 respondentů), dále pak o narůstající energii při urychlování (4 respondenti) nebo zmínky o překážkách na cestě (3 respondenti).

Na otázku číslo 6 odpovědělo 11 respondentů, že se jedná o rozklad na částice a následné složení (stejný princip jako v seriálu Star Trek), 6 respondentů pak uvádí, že se jedná o průchod červí dírou, zbytek buď nevěděl, nebo uváděl jinou odpověď.

Na otázku číslo 7 odpověděli 4 respondenti, že se jedná o nadsvětelný pohon a pouze jeden uvádí správnou odpověď, že se jedná o ohýbání prostoru. Zbytek nevěděl.

Otázka číslo 8 je shrnuta v tabulce 4.2.

Otázku číslo 9 lze podle odpovědí rozdělit na několik kategorií. V první kategorii jsou odpovědi typu „Vesmír je tak velký a my ho zdaleka neznáme celý, takže pochybuji, že jen na Zemi by mohl být život. Kdyby život nikde nebyl, bylo by to plýtvání místem.“ Do této kategorie se zařadilo 8 respondentů, druhou kategorií lze nazvat „Může být, zatím není vše prozkoumáno.“ Do této spadá 6 odpovědí. Třetí kategorií byly odpovědi typu „Nikde nejsou potřebné podmínky pro život, jsme jedineční.“ Do této kategorie lze zařadit 5 respondentů, čtvrtá kategorie obsahovala odpovědi typu „Na Zemi byl a je život, proč by to tak nemohlo být i jinde?“ s počtem 3 odpovědí. Poslední kategorií

Tabulka 4.2 *Nejčastější odpovědi na otázku č. 8.*

Odpověď	Počet
jídlo	19
zbraň	15
vodu	13
nějakého člověka	10
oblečení	9
spacák	8
sirky	7
nářadí	5
skafandr	5
semena rostlin	4

byly odpovědi typu „Tuto domněnku nelze potvrdit ani vyvrátit.“ se 3 respondenty. Zbylé odpovědi nebylo možné kategorizovat.

4.1.1 Závěry předvýzkumu

Z předvýzkumu lze usoudit, že po maturitě si studenti do života odnesou spíše základní a všeobecné znalosti (otázka číslo 1 a 2). Hlubší znalosti speciální teorie relativity nelze u studentů předpokládat (otázky číslo 3 až 5). Z tohoto důvodu je vhodné se při tvorbě prezentací zaměřit na zpracování především materiálů, které spadají do tematických okruhů jako jsou kinematika, dynamika, gravitační pole a optika.

Z odpovědí na otázky číslo 6 a 7 vyplývá, že budoucí výběr filmů by měl být především zaměřen na seriály či filmy, které jsou v televizi často opakovány.

Odpovědi na otázku číslo 8 navozují pocit, že pokud se připravit na pobyt na cizí planetě, tak se bude jednat o krátkodobou záležitost, při níž nebude potřeba se nikterak zabydlovat. Zde lze vidět jistou korelaci mezi novodobými sci-fi filmy, kde děj je dán tím, že hlavní hrdina je na planetě jen na návštěvě nebo zde uvízl a čeká na záchranu. V povídkách či starších filmech se častěji řeší dlouhodobé osídlení planety. Zde je možné cítit jistý přístup nejmladší generace, která nechce s ničím ztrácet čas.

Odpovědi na otázku číslo 9 asi každému fanouškovi seriálu Star Trek Nová generace připomenou úvodní slova, která lze parafrázovat nějak takto: „Vesmír a jeho hranice. Takové jsou cesty hvězdné lodi Enterprise, jejímž posláním je objevovat nové formy života a nové civilizace. Odvážně se pouští tam, kam se dosud nikdo nevydal.“

Z odpovědí na otázky číslo 8 a 9 lze vyvodit, že vliv sci-fi filmů na utváření fyzikálního obrazu světa by u studentů mohl být statisticky významný.

4.2 Mapování stupně znalostí respondentů

Dotazníkové šetření stupně znalostí respondentů je v podstatě rozděleno na tři části. V první části respondent odpovídal na otázky, které ho charakterizují a kategorizují. V této části je 13 otázek, ve kterých je zjišťováno zaměření studenta, jeho čtenářská gramotnost a zájem o sci-fi a fantasy žánr.

Druhá část obsahuje celkem 21 otázek a je zaměřena na názory a znalosti studenta. Zde jsou otázky týkající se základních znalostí, dále otázky, které zjišťují, jak moc je student ovlivněn médií, a dále otázky jednotlivých témat sci-fi či fantasy příběhů.

Třetí část se týká znalostí filmových či literárních děl různých autorů. Zde jsou vybrány filmy a seriály z posledních let, ale i mnohem starší. Názvy jsou vybrány dle oblíbenosti z internetových databází „**The Internet Movie Database (IMDb)**“ [74] a „**Česko-Slovenská filmová databáze (CSFD)**“ [14]. Literární díla jsou vybrána z nabídky serveru „**LEGIE - databáze knih Fantasy a Sci-Fi**“ [11], který se zabývá nejznámějšími sci-fi či fantasy spisovateli.

Mezi známé filmy, seriály a knihy jsou vloženy tři názvy, které jsou zcela vymyšlené, takto lze odhadnout kolik studentů tuto část vyplní bezmyslenkovitě.

Čtvrtá část je zaměřena na vyjadřovací schopnosti při definování pojmů, které se běžně nedefinují a berou se jako zcela zřejmé.

Text dotazníku lze nalézt v příloze A a v příloze B.

4.2.1 Metody zpracování a kategorizování dotazníků

Během výzkumu, který byl proveden v Plzni v roce 2012, se podařilo získat 346 relevantních dotazníků (vizte přílohu A). (Po předběžném průzkumu vyplněných dotazníků jich 20 bylo vyřazeno z důvodu neúplného vyplnění.) Dotazníky tehdy vyplňovali především studenti na VOŠ a SPŠE v Plzni a dále pak dobrovolníci z Plzně. Následně byl v roce 2013 obměněný dotazník (vizte přílohu B) předložen studentům studujícím na univerzitě „Friedrich-Alexander Universität“ v Erlangenu, kde bylo získáno 78 relevantních dotazníků. (Neúplně vyplněné dotazníky byly tehdy dva.)

Kategorie pro věk byly stanoveny tři. Do první kategorie byly zařazeni nejčastěji žáci základních škol. Horní hranice druhé kategorie byla stanovena na 30 let, sem by měla spadat takzvaná „generace Y“, což jsou lidé běžně využívající moderní komunikační technologie. Tato kategorie zahrnuje také generaci vyrůstající v porevoluční době. Třetí kategorie zahrnuje převážně respondenty starší 30 let, často také označované jako „generace X“.

Pro kvantitativní vyhodnocení dotazníků byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,05$, na níž jsou za pomoci kontingenčních tabulek (Pearsonova a Čuprovova koeficientu kontingence) potvrzovány či vyvraceny hypotézy. Hladina významnosti byla stanovena na základě počtu odpovědí třetí části dotazníku, kam byly vloženy neexistující filmy a autoři.

Pro kvalitativní vyhodnocení čtvrté části dotazníku bylo vytvořeno několik kategorií, do nichž byly odpovědi rozděleny. Tyto kategorie byly zvoleny na základě odpovědí respondentů.

Celý výzkum byl zpracován v aplikaci „OpenOffice.org Calc“.

4.2.2 Hypotézy

Hlavní myšlenkou dotazníkového šetření, je zjistit, jak by studenti ve školách přijali výklad a cvičné úlohy či příklady se sci-fi či fantasy tematikou.

K této hlavní myšlence jsou přidruženy dvě vedlejší otázky. Jak moc se studenti zajímají o sci-fi či fantasy tematiku? Jaké množství sci-fi či fantasy příběhů studenti znají?

Dalším zajímavým aspektem jsou otázky ovlivnění. Jak moc je myšlení studentů ovlivněno sci-fi či fantasy tematikou? Jak se projevuje čtenářská gramotnost na způsob uchopení a definování pojmů jako je *bod*, *čas*, *prostor* a *nicota*?

Na základě dotazníkového šetření je pak také potřeba odpovědět na otázku, zda se v práci zaměřit na celovečerní filmy, seriály nebo na knihy.

Hypotézy a jejich alternativy byly stanoveny takto:

1. H_0 : Obliba sci-fi nebo fantasy žánru je nezávislá na zájmu o vysvětlení některých sci-fi nebo fantasy příběhů.
 H_1 : Obliba sci-fi nebo fantasy žánru je závislá na zájmu o vysvětlení některých sci-fi nebo fantasy příběhů.
2. H_0 : Nezájem o sci-fi nebo fantasy má méně než 25 % respondentů.
 H_1 : Nezájem o sci-fi nebo fantasy má více než 25 % respondentů.
3. H_0 : Většina (alespoň 75 %) respondentů zná alespoň dva uvedené filmy, seriály nebo autory.
 H_1 : Menšina (nejvýše 25 %) respondentů nezná alespoň dva uvedené filmy, seriály nebo autory.
4. H_0 : Počet odpovědí na otázky z druhé části dotazníků je nezávislý na charakteristice respondentů.
 H_1 : Počet odpovědí na otázky z druhé části dotazníků je závislý na charakteristice respondentů.
5. H_0 : Čtenářská gramotnost je nezávislá na způsobu definování pojmů *bod*, *čas*, *prostor* a *nicota*.
 H_1 : Čtenářská gramotnost je závislá na způsobu definování pojmů *bod*, *čas*, *prostor* a *nicota*.

Položená otázka zní: Kolik procent respondentů zná alespoň polovinu uvedených filmů, seriálů nebo autorů?

4.2.3 Základní charakteristika souboru

Základní charakteristika souboru je shrnuta v tabulkách 4.3 a 4.4. Z těchto tabulek stojí za povšimnutí několik údajů. Respondenti mají o technické obory zájem pouze občas. Nejraději sledují filmy, a to celovečerní či seriály. Z knih čtou nejraději komiksy, časopisy a romány rozdělené do několika knih. Text mají rádi doplněný obrázky. Sci-fi nebo fantasy se jim občas líbí. Výuka fyziky aplikovaná na příkladech ze sci-fi či fantasy by jim ve škole přišla zajímavá. Svět popsaný ve sci-fi filmech či povídkách jim připadá jen z části možný, fyzikální zákony v těchto povídkách považují za upravené autorem díla.

Pro přehlednost tabulek 4.3 a 4.4 si uveďme možné odpovědi.

Otázka číslo I: a) muž b) žena.

Otázka číslo II: a) 1 – 15 b) 16 – 30 c) 31 – 130.

Otázka číslo III: a) nemám b) tu a tam c) technika a věda jsou mi vším.

Otázka číslo IV: a) čtu b) sleduji filmy c) poslouchám hudbu či mluvený text.

Otázka číslo V: a) celovečerní filmy b) seriály c) dokumenty.

Otázka číslo VI: a) komiksy a časopisy b) kratší povídky c) romány rozdělené do několika knih.

Otázka číslo VII: a) obrázky b) rovnicemi c) technickými schémata.

Otázka číslo VIII: a) miluji nadevše b) se mi občas líbí c) mě vůbec nezajímá.

Otázka číslo IX: a) úplně dokonalé b) zajímavé c) fyzika je nuda.

Otázka číslo XII: a) možný b) jen z části možný c) nemožný.

Otázka číslo XIII: a) odpovídá realitě b) je upravená c) nerespektuje realitu.

U otázek číslo X a XI bylo z důvodu některých nereálně nadhodnocených odpovědí použito 95% percentilu. Lze říci, že 95 % respondentů přečte v průměru pět knih za rok a filmů za rok tento počet respondentů zhlédne v průměru až 10. Skoro polovina respondentů vůbec nečte (tabulky 4.5 a 4.6).

Tabulka 4.3 *Základní charakteristika dotazníků získaných v Plzni. Písmena a, b a c označují možnosti výběru, vizte dotazník v příloze A a v příloze B.*

otázka číslo	odpověď			odpověď %			počet odpovědí
	a	b	c	a	b	c	
I. Pohlaví	226	120		65,3%	34,7%		346
II. Věk	91	198	56	26,4%	57,4%	16,2%	345
III. Zájem o techniku	48	224	73	13,9%	64,9%	21,2%	345
IV. Nejraději	91	175	80	26,3%	50,6%	23,1%	346
V. Sleduji nejraději	148	150	48	42,8%	43,4%	13,9%	346
VI. Z knih čtu nejraději	126	94	123	36,7%	27,4%	35,9%	343
VII. Nejraději čtu text	292	14	38	84,9%	4,1%	11,0%	344
VIII. Sci-fi nebo fantasy	109	185	31	33,5%	56,9%	9,5%	325
IX. Výuka	39	136	13	20,7%	72,3%	6,9%	188
XII. Svět ve sci-fi je	50	65	231	14,5%	18,8%	66,8%	346
XIII. Fyzika ve sci-fi	22	242	80	6,4%	70,3%	23,3%	344

Obrázek 4.1 a 4.2 shrnuje všech 21 otázek druhé části dotazníku. Tato část byla do dotazníků vložena na základě otázek studentů. Velmi často se totiž žáci zarážejí nad otázkami, které jsou velmi odtržené od reality a patří spíše do světa sci-fi. Otázky v dotazníku jsou vytvořeny na základě častých klišé ve sci-fi a fantasy filmech. Nejvíce může překvapit otázka číslo 19, kde tři čtvrtiny respondentů uvádí, že infra kamerou či nočním viděním je možné sledovat pohyb osob za zdí. Nutno též poznamenat, že otázka číslo 11 je nešťastně formulována a u otázky číslo 18 je sporné zda se jedná o teleportaci, či o přenos jednoho souboru kvantových stavů na druhý soubor.

Průměrný bodový zisk u otázek z druhé části dotazníku je u respondentů z Plzně 13,48 bodu a u respondentů z Erlangenu 15,58 bodu. Jak se ukazuje z analýzy pomocí

Tabulka 4.4 Základní charakteristika dotazníků získaných v Erlangenu. Písmena a, b a c označují možnosti výběru, vizte dotazník v příloze.

otázka číslo	odpověď			odpověď %			počet odpovědí
	a	b	c	a	b	c	
I. Pohlaví	55	23		70,5 %	29,5 %		78
II. Věk	0	74	4	0,0 %	94,9 %	5,1 %	78
III. Zájem o techniku	6	40	32	7,7 %	51,3 %	41,0 %	78
IV. Nejraději	22	37	19	28,2 %	47,4 %	24,4 %	78
V. Sleduji nejraději	36	30	12	46,2 %	38,5 %	15,4 %	78
VI. Z knih čtu nejraději	22	11	45	28,2 %	14,1 %	57,7 %	78
VII. Nejraději čtu text	55	7	16	70,5 %	9,0 %	20,5 %	78
VIII. Sci-fi nebo fantasy	12	41	25	15,4 %	52,6 %	32,1 %	78
IX. Výuka	6	48	24	7,7 %	61,5 %	30,8 %	78
XII. Svět ve sci-fi je	3	22	53	3,8 %	28,2 %	67,9 %	78
XIII. Fyzika ve sci-fi	2	46	30	2,6 %	59,0 %	38,5 %	78

Tabulka 4.5 Odpovědi na otázku X a XI v Plzni. Hodnoty v tabulce jsou vztaženy na 95 % respondentů.

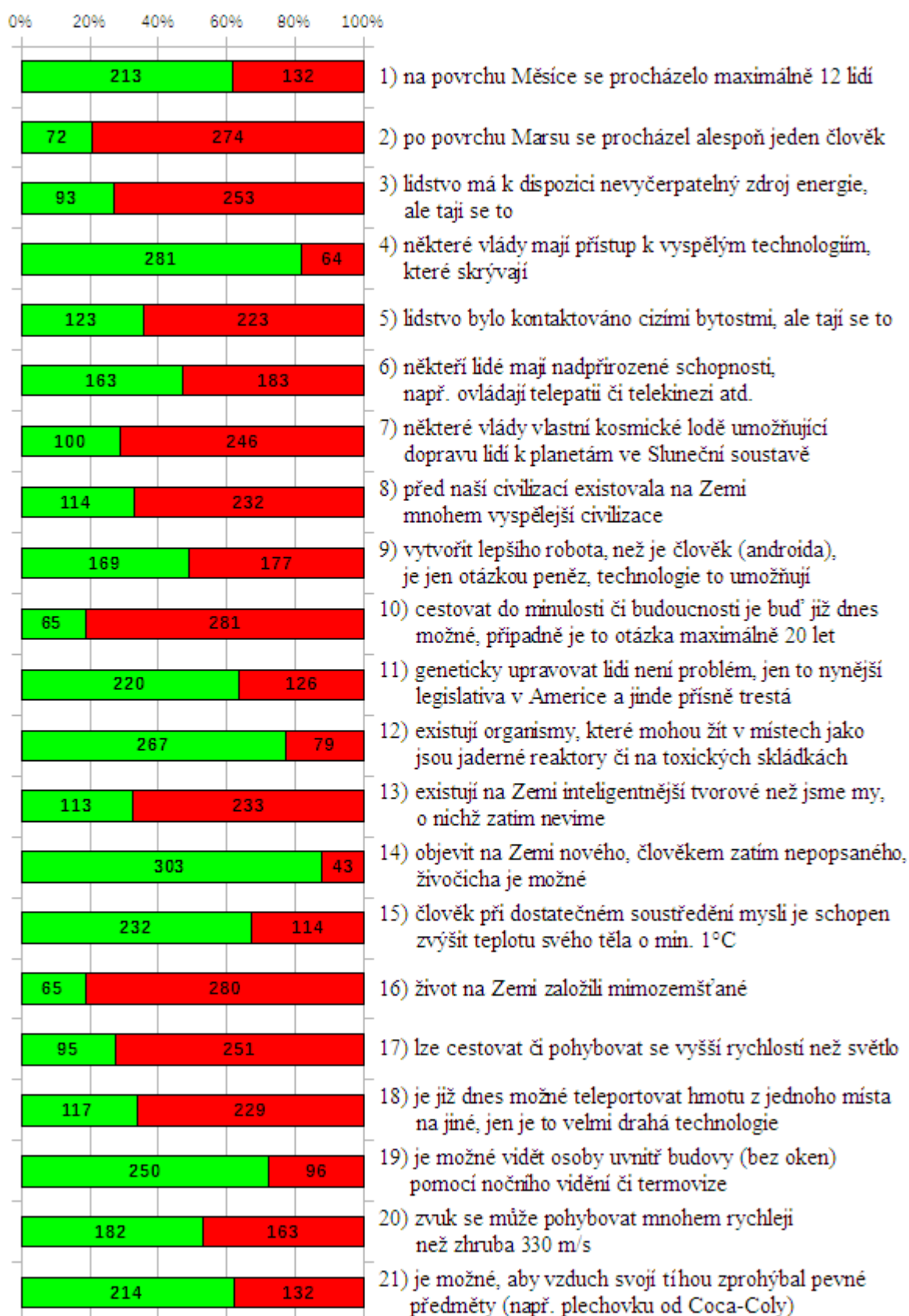
otázka číslo	průměr	maximum	nesledují nečtou	nesledují % nečtou %	počet odpovědí
X. Počet filmů	10,33	60	67	19,4 %	346
XI. Počet knih	5,45	30	171	49,4 %	346

Tabulka 4.6 Odpovědi na otázku X a XI v Erlangenu. Hodnoty v tabulce jsou vztaženy na 95 % respondentů.

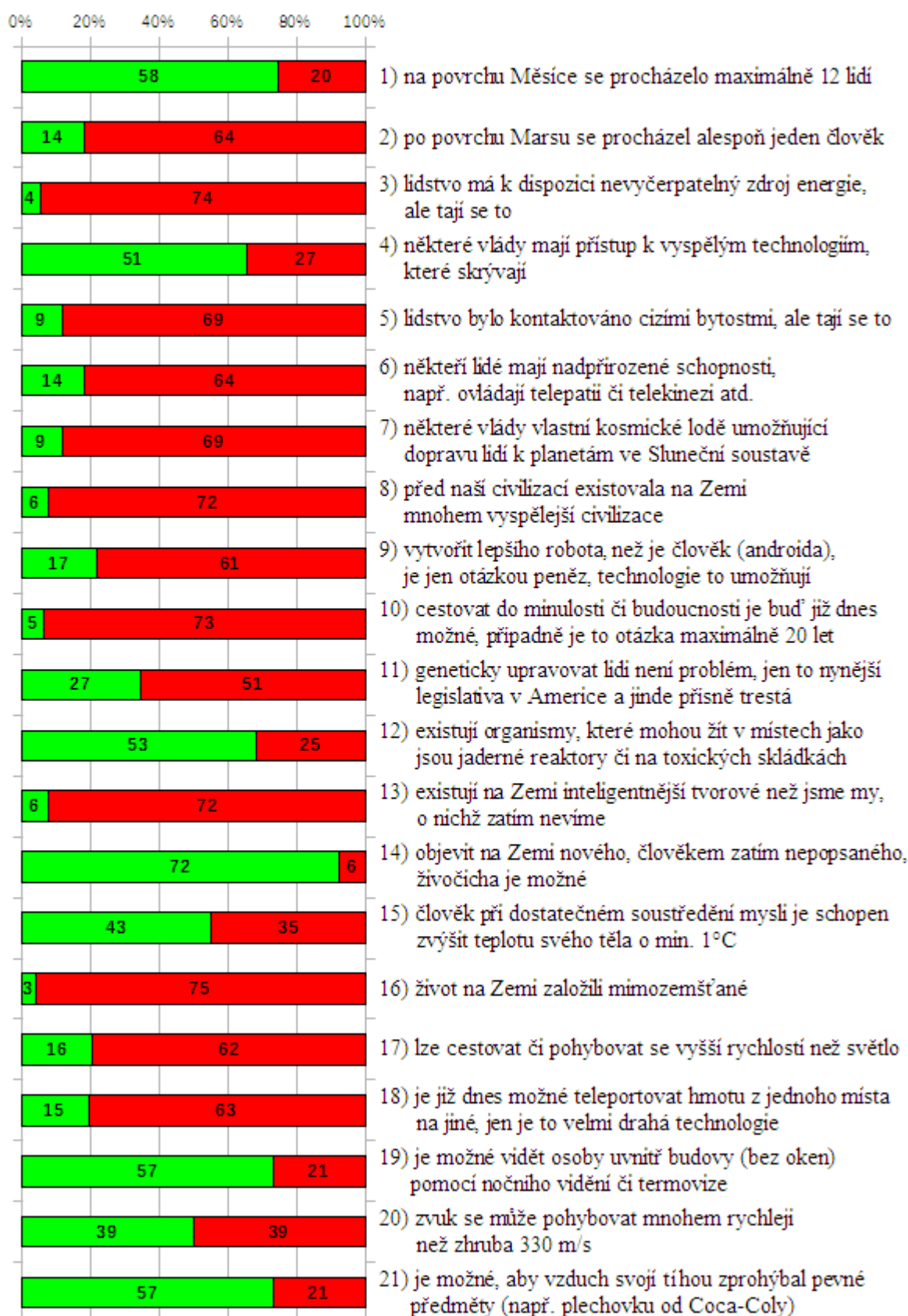
otázka číslo	průměr	maximum	nesledují nečtou	nesledují % nečtou %	počet odpovědí
X. Počet filmů	9,30	44	11	14,1 %	78
XI. Počet knih	5,09	24	42	53,8 %	78

kontingenčních tabulek, tak správnost názorů je velmi závislá na věku. Tabulka 4.7 uvádí správné odpovědi na položené otázky.

Bodový zisk respondentů z Plzně a Erlangenu je shrnut v box plotech 4.3 a 4.4.



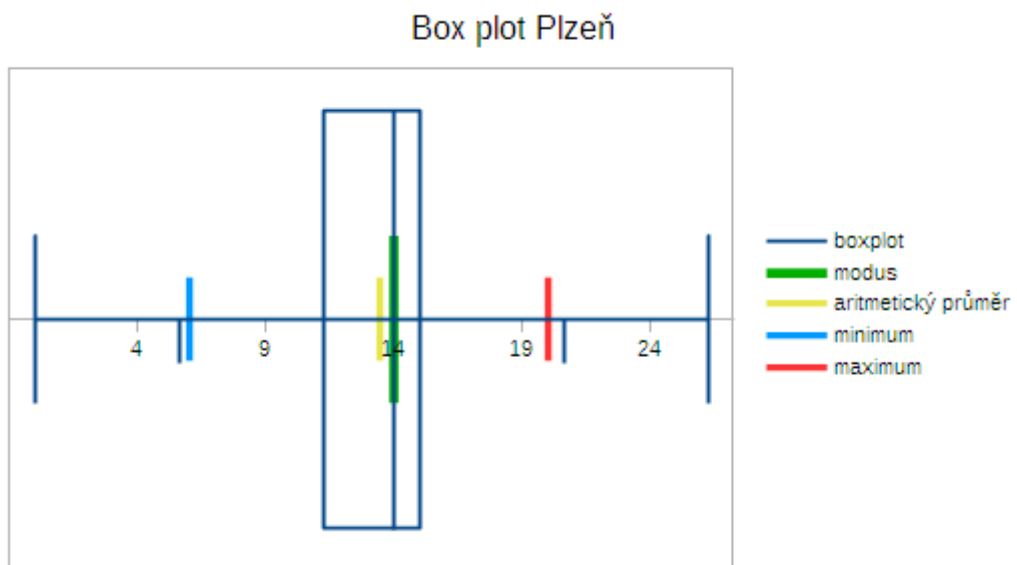
Obrázek 4.1 Odpovědi na testovací otázky z dotazníkového šetření provedeného v Plzni. Světle zelená označuje odpověď „ano“, světle červená odpověď „ne“. Velikost barevných ploch udává procentuální zastoupení odpovědí.



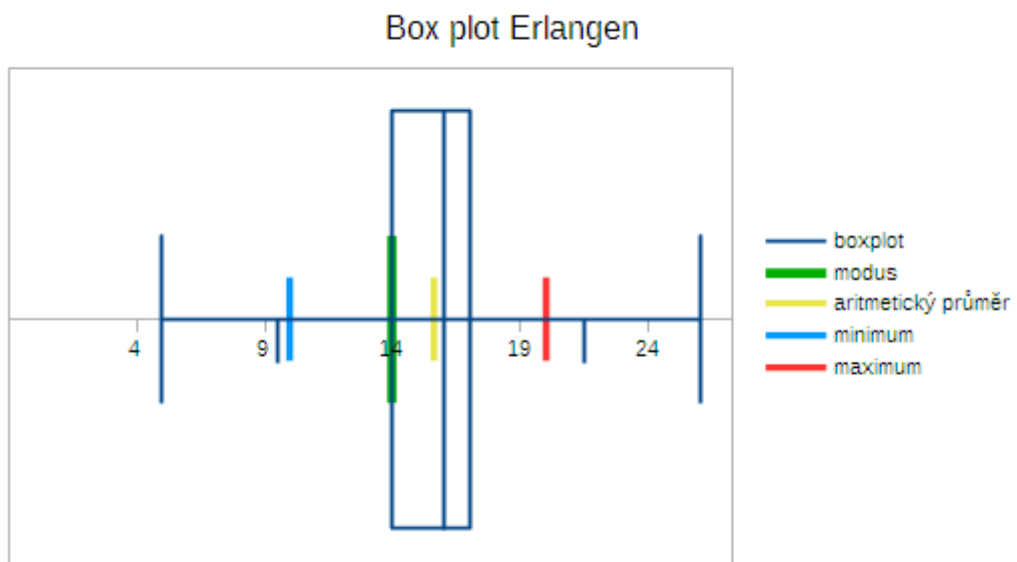
Obrázek 4.2 Odpovědi na testovací otázky z dotazníkového šetření provedeného v Erlangenu. Světle zelená označuje odpověď „ano“, světle červená odpověď „ne“. Velikost barevných ploch udává procentuální zastoupení odpovědí.

Tabulka 4.7 *Odpovědi na otázky z dotazníkového šetření, které byly považované za správné.*

Myslím si, že	správné odpovědi
1) na povrchu Měsíce se procházelo maximálně 12 lidí.	Ano
2) po povrchu Marsu se procházel alespoň jeden člověk.	Ne
3) lidstvo má k dispozici nevyčerpatelný zdroj energie, ale tají se to.	Ne
4) některé vlády mají přístup k vyspělým technologiím, které skrývají.	Ano
5) lidstvo bylo kontaktováno cizími bytostmi, ale tají se to.	Ne
6) někteří lidé mají nadpřirozené schopnosti, např. ovládají telepatii či telekinezi atd.	Ne
7) některé vlády vlastní kosmické lodě umožňující dopravu lidí k planetám ve Sluneční soustavě.	Ne
8) před naší civilizací existovala na Zemi mnohem vyspělejší civilizace.	Ne
9) vytvořit lepšího robota, než je člověk (androida), je jen otázkou peněz, technologie to umožňují.	Ne
10) cestovat do minulosti či budoucnosti je buď již dnes možné, případně je to otázka maximálně 20 let.	Ne
11) geneticky upravovat lidi není problém, jen to nynější legislativa v Americe a jinde přísně trestá.	Ne
12) existují organismy, které mohou žít v místech jako jsou jaderné reaktory či na toxických skládkách.	Ano
13) existují na Zemi inteligentnější tvorové než jsme my, o nichž zatím nevíme.	Ne
14) objevit na Zemi nového, člověkem zatím nepopsaného, živočicha je možné.	Ano
15) člověk při dostatečném soustředění mysli je schopen zvýšit teplotu svého těla o min. 1°C.	Ano
16) život na Zemi založili mimozemšťané.	Ne
17) lze cestovat či pohybovat se vyšší rychlostí než světlo.	Ne
18) je již dnes možné teleportovat hmotu z jednoho místa na jiné, jen je to velmi drahá technologie.	Ano
19) je možné vidět osoby uvnitř budovy (bez oken) pomocí nočního vidění či termovize.	Ne
20) zvuk se může pohybovat mnohem rychleji než zhruba 330 m/s.	Ano
21) je možné, aby vzduch svojí vahou zprohýbal pevné předměty (např. plechovku od Coca-Coly).	Ano



Obrázek 4.3 *Box plot shrnující počty správných odpovědí na testovací otázky z dotazníkového šetření provedeném v Plzni. V box plotu jsou vyznačeny odlehlé i extrémní hodnoty.*



Obrázek 4.4 *Box plot shrnující počty správných odpovědí na testovací otázky z dotazníkového šetření provedeném v Erlangenu. V box plotu jsou vyznačeny odlehlé i extrémní hodnoty.*

V tabulce 4.8 a 4.9 jsou shrnuty výsledky šetření vybraných filmů, u nichž respondent zná děj. Mezi vybrané filmy byl zařazen i název *Kvadri – kvadra*. Žádný existující film dosud nenese tento název. Do dotazníku byl název přidán proto, aby bylo možné rozhodnout o relevanci odpovědí a zda respondenti dotazník vyplnili náhodně, nebo nad ním přemýšleli.

Pro respondenty v Erlangenu byly vypuštěny české filmy a nahradily je pokud možno stejně staré ekvivalenty německých sci-fi a fantasy filmů.

V tabulkách 4.8 a 4.9 jsou filmy seřazeny dle roku jejich premiéry. Při tvorbě dotazníku filmy nebyly časově seřazeny, neboť z estetického i praktického hlediska byla potřeba různě dlouhé názvy filmů seřadit do pravidelných sloupců. Z uvedených dat lze soudit, že rok premiéry nekoreluje se znalostí děje filmu, stejně tak divácká obliba. Důležitým faktorem pro znalost děje filmu je, jak často je film uváděn v médiích.

Je zajímavé, že v Německu jsou filmy vlastní tvorby natočené před rokem 1980 velmi málo známé.

Tabulka 4.8 *Oblíbenost a sledovanost vybraných filmů v Plzni. Seřazeno dle roku premiéry filmu. V tabulce je uvedeno i pořadové číslo z dotazníku a oblíbenost filmu dle hodnocení serverů CSFD [14] či IMDB [74].*

název filmu	premiéra	oblíbenost	počty odpovědí	
17) Krakatit	1948	8,4	118	34,1 %
16) Vynález zkázy	1958	8,7	104	30,1 %
3) Icarus XB 1 (Ikarie XB 1)	1963	7,9	31	9,0 %
8) 2001: Vesmírná odysea	1968	8,4	99	28,6 %
18) Zabil jsem Einsteina, pánové ...	1969	7,5	95	27,5 %
4) Na kometě	1970	8,4	37	10,7 %
13) „Pane, vy jste vdova!“	1970	8,2	140	40,5 %
9) Ráno vstanu a opařím se čajem	1977	7,7	143	41,3 %
1) Blade Runner	1982	8,3	79	22,8 %
2) E.T. – Mimoszemšťan	1982	7,9	186	53,8 %
6) The Thing (Věc)	1982	8,2	80	23,1 %
15) Threads (Vlákna)	1984	8	19	5,5 %
7) Total Recall	1990	7,4	108	31,2 %
14) The Fifth Element (Pátý element)	1997	7,5	181	52,3 %
5) Osudový dotek	2004	7,7	88	25,4 %
11) I, Robot (Já, robot)	2004	7	237	68,5 %
10) District 9	2009	8,1	81	23,4 %
12) Kvadri – kvadra			1	0,3 %

Znalost a oblíbenost seriálů a n-logií je shrnuta v tabulkách 4.10 a 4.11. Pojem „n-logie“ je použit jako zobecnění pojmů trilogie, pentalogie a dalších. V této skupině je opět přidán vymyšlený seriál „DustStar: Renegati“, aby bylo možné odhadnout, jaké množství dotazníků je irrelevantních. V tabulkách jsou seriály řazeny dle data premiéry.

Tabulka 4.9 *Oblíbenost a sledovanost vybraných filmů v Erlangenu. Seřazeno dle roku premiéry filmu. V tabulce je uvedeno i pořadové číslo z dotazníku a oblíbenost filmu dle hodnocení serverů CSFD [14] či IMDB [74].*

název filmu	premiéra	oblíbenost	počty odpovědí	
17) Metropolis (1927)	1927	8	13	16,7 %
16) F.P.1 antwortet nicht	1932	6,4	1	1,3 %
8) 2001: A Space Odyssey	1968	8,4	27	34,6 %
4) Signale – Ein Weltraumabenteuer	1970	5,4	1	1,3 %
18) Eolomea	1972	6,6	0	0,0 %
3) Im staub der Sterne	1976	5	2	2,6 %
13) Operation Ganymed	1977	6,9	2	2,6 %
1) Blade Runner	1982	8,3	23	29,5 %
2) E.T.: The Extra-Terrestrial	1982	7,9	52	66,7 %
6) The Thing (Věc)	1982	8,2	22	28,2 %
15) Threads (Vlákna)	1984	8	1	1,3 %
7) Total Recall	1990	7,4	22	28,2 %
14) The Fifth Element (Pátý element)	1997	7,5	61	78,2 %
5) The Butterfly Effect	2004	7,7	48	61,5 %
11) I, Robot (Já, robot)	2004	7	57	73,1 %
9) Pandorum	2009	6,8	12	15,4 %
10) District 9	2009	8,1	37	47,4 %
12) Kvadri – kvadra			0	0,0 %

Pro respondenty z Erlangenu byly opět české seriály a n-logie nahrazeny německými ekvivalenty.

Ze srovnání s tabulkami 4.8 a 4.9 lze dospět k závěru, že seriály zná více respondentů než filmy. Toto zjištění bylo později zohledněno při výběru ukázek, kdy do ukázek byly vkládány především seriály, okrajově pak i filmy.

Je také zajímavé, že respondenti z Erlangenu opět neznají mnoho svých vlastních seriálů či n-logií. Jak se později ukázalo během rozhovorů se studenty, tak ani většina respondentů z Plzně nezná české sci-fi seriály. Známé jsou především americké hollywoodské filmy a seriály.

Opět je velká korelace mezi znalostí děje a častým vysíláním v médiích, především v televizi. Jako příklad lze uvést seriály „Firefly“ a „Babylon 5“, oba seriály se v letech 2010 až 2013 vysílaly v českém dabingu jen asi jednou a byly dostupné pouze na satelitním či kabelovém vysílání. Znalost děje těchto seriálů je proto velmi mizivá, ačkoliv se jedná o seriály hodnocené fanoušky sci-fi jako jedny z nejlepších.

Tabulky 4.12 a 4.13 shrnují data z dotazníků týkajících se znalosti spisovatelů. Již na první pohled je v tabulkách vidět, že málo respondentů zná nějakého vybraného autora sci-fi či fantasy. Je to dáno tím, že velmi málo respondentů čte. Mezi spisovatele bylo opět zařazeno jedno vymyšlené jméno, které má určit relevantnost údajů. Pro respondenty z Erlangenu byly čeští spisovatelé nahrazeni německými, přesto bylo

Tabulka 4.10 *Oblíbenost a sledovanost vybraných seriálů či n-logií v Plzni. Seřazeno dle roku premiéry seriálu. V tabulce je uvedeno i pořadové číslo z dotazníku a oblíbenost seriálu dle hodnocení serverů CSFD [14] či IMDB [74].*

název seriálu či n-logie	premiéra	oblíbenost	počty odpovědí	
18) Planet of the Apes (Planeta opic)	1968	8	209	60,4 %
8) Podivuhodná dobrodružství Vladimíra Smolíka	1972	8,3	139	40,2 %
6) Star Wars (Hvězdné války)	1977	8,8	228	65,9 %
16) The Visitors (Návštěvníci) CZ	1983	8,1	161	46,5 %
15) Terminátor	1984	8,1	241	69,7 %
1) Návrat do budoucnosti	1985	8,5	152	43,9 %
14) Star Trek	1987	8,6	193	55,8 %
9) Highlander	1992	7,4	72	20,8 %
10) Babylon 5	1994	8,3	30	8,7 %
7) The Outer Limits (Krajní meze)	1995	8,3	46	13,3 %
5) Star Gate (Hvězdná brána)	1997	8,3	240	69,4 %
3) Futurama	1999	8,9	244	70,5 %
13) Matrix	1999	8,7	254	73,4 %
17) Firefly	2002	9,3	32	9,2 %
11) Hvězdná loď Galactica	2004	8,8	76	22,0 %
2) Eureka (Heuréka – město divů)	2006	7,5	133	38,4 %
4) Heroes (Hrdinové)	2006	7,1	147	42,5 %
12) DustStar: Renegati			4	1,2 %

v této části ponecháno jméno českého autora Karla Čapka. U tohoto autora lze totiž předpokládat, že jakožto tvůrce názvu „robot“ bude celosvětově známý. Bohužel z výsledků vyplývá, že tomu tak není. V tabulkách jsou autoři seřazeni podle data narození.

Znalost některých spisovatelů je dána především školní výukou a ti spisovatelé, kteří jsou v doporučené literatuře, jsou známí.

Je také zajímavé srovnat v uvedených tabulkách oblíbenost spisovatelů, filmů a seriálů. Jak se ukazuje, spisovatelé jsou dle uvedených databází ve větší oblibě nežli filmy. Zde se však jedná o zavádějící srovnání, neboť hlasování o literárních dílech se účastní především fanoušci daného literárního žánru, kdežto hodnocení filmů se účastní i lidé s jinými zájmy.

Z výsledků třetí části dotazníků zabývající se filmy, seriály a spisovateli plyne, že celkem asi 2 % vyplněných dotazníků budou zavádějící, neboť jsou zde zatrženy neexistující položky. Toto zjištění zdůvodňuje výběr hladiny významnosti $\alpha = 0,05$ jako zcela dostačující pro dotazníkové šetření.

Čtvrtá část dotazníkového šetření je shrnuta v tabulkách 4.14, 4.15, 4.16 a 4.17. V tabulkách jsou vytvořeny kategorie vyplývající z odpovědí respondentů. Více než 40 % respondentů neodpovědělo na všechny čtyři otázky. V otázkách byly zvoleny čtyři

Tabulka 4.11 *Oblíbenost a sledovanost vybraných seriálů či n-logií v Erlangenu. Seřazeno dle roku premiéry seriálu. V tabulce je uvedeno i pořadové číslo z dotazníku a oblíbenost seriálu dle hodnocení serverů CSFD [14] či IMDB [74].*

název seriálu či n-logie	premiéra	oblíbenost	počty odpovědí	
8) Raumpatrouille Orion	1966	7	12	15,4 %
16) Herrliche Zeiten im Spessart	1967	4,8	0	0,0 %
18) Planet of the Apes (Planeta opic)	1968	8	44	56,4 %
6) Star Wars (Hvězdné války)	1977	8,8	65	83,3 %
15) Terminátor	1984	8,1	55	70,5 %
1) Back to the Future	1985	8,5	42	53,8 %
14) Star Trek	1987	8,6	51	65,4 %
9) Highlander	1992	7,4	35	44,9 %
10) Babylon 5	1994	8,3	15	19,2 %
7) The Outer Limits (Krajní meze)	1995	8,3	9	11,5 %
5) Star Gate (Hvězdná brána)	1997	8,3	53	67,9 %
3) Futurama	1999	8,9	58	74,4 %
13) Matrix	1999	8,7	68	87,2 %
17) Firefly	2002	9,3	16	20,5 %
11) Battlestar Galactica	2004	8,8	29	37,2 %
2) Eureka (Heuréka – město divů)	2006	7,5	29	37,2 %
4) Heroes (Hrdinové)	2006	7,1	26	33,3 %
12) DustStar: Renegati			0	0,0 %

základní kategorie a několik doplňujících. Do kategorie *nelze definovat* byly zařazeny všechny odpovědi, které popisovaly, že pojem nelze žádným rozumným způsobem definovat. Do kategorie *definice kruhem* byly zařazeny odpovědi, které se daný pojem snažily definovat pomocí jiného pojmu, k jehož vysvětlení je nutné použít definovaný pojem. Do kategorie *nechci odpovídat* byly zařazeny všechny odpovědi respondentů, kteří se rozhodli zatrhout tuto možnost, případně nevěděli, jak pojem definovat. Do čtvrté kategorie *ostatní* byly zařazeny všechny odpovědi, které nešlo žádným jiným způsobem kategorizovat. V této kategorii se vyskytují odpovědi velmi nevšední. Nejvíce zaujmou odpovědi: „Jakékoli místo na těle ženy, které se při doteku či polibku vzruší, často označované písmeny, například G.“, „pomocí jeho měření se lze orientovat v minulosti a budoucnosti“, „něco, kde si můžete dělat, co chcete“ a „prázdná, klid, nabídka sexu po dvou lahvích vodky“.

Zajímavou doplňující kategorií byla kategorie *filosofický pojem*. Sem byly zařazeny všechny odpovědi, které by se mohly stát citáty či epitafy nebo obsahovaly nějakou hlubší myšlenku. Ostatní kategorie jsou sestaveny z odpovědí, které se nějakým způsobem u více respondentů opakovaly. Za zmínku snad stojí shrnutí, že pod pojmem *bod* si nejvíce respondentů představuje geometrické označení v prostoru, ač tento pojem nebyl zvolen nejvhodněji, málo odpovědí se zmiňuje o bodu jako hodnotícím prvku kvantity,

Tabulka 4.12 *Oblíbenost a čtenost vybraných autorů v Plzni. Seřazeno dle roku narození autora. V tabulce je uvedeno i pořadové číslo z dotazníku a oblíbenost autora dle hodnocení serveru LEGIE [11].*

jméno autora	datum narození	oblíbenost	počty odpovědí	
16) Verne Jules	1828	9,3	154	44,5 %
8) Svatopluk Čech	1846	8,3	81	23,4 %
13) Karel Čapek	1890	9,8	174	50,3 %
3) Clarke Arthur Charles	1917	9,5	42	12,1 %
6) Pohl Frederik	1919	8,9	23	6,6 %
2) Asimov Isaac	1920	9,5	122	35,3 %
11) Bradbury Ray	1920	9,5	66	19,1 %
9) Stanisław Lem	1921	10	34	9,8 %
4) Harrison Harry Maxwell	1925	10	10	2,9 %
10) Anderson Poul William	1926	9,6	32	9,2 %
17) Stasheff Christopher	1944	9	11	3,2 %
18) Feist Raymond	1945	10	22	6,4 %
5) King Stephen Edwin	1947	9,3	55	15,9 %
15) Pratchett Terry	1948	10	79	22,8 %
7) Sapkowski Andrzej	1948	9,4	77	22,3 %
1) Adams Douglas Noel	1952	9,3	85	24,6 %
14) Kulhánek Jiří	1967	9,4	27	7,8 %
12) Grandel Moremen			2	0,6 %

například bod v tenise. Pojem *čas* většina respondentů popisuje jako fyzikální veličinu či čtvrtou dimenzi prostoru. Pod pojmem *nicota* si většina respondentů představuje vákuum. Opět se jedná o pojem spíše poetický než fyzikální. Největší problémy v popisu dělal pojem *prostor*. Ten byl buď definovaný pomocí pojmu *místo*, nebo jako fyzikální označení tří dimenzí.

Přakvapivě velmi málo respondentů odpovědělo, že tyto pojmy nelze definovat, nebo že se zpravidla vůbec nedefinují.

Tabulka 4.13 *Oblíbenost a čtenost vybraných autorů v Erlangenu. Seřazeno dle roku narození autora. V tabulce je uvedeno i pořadové číslo z dotazníku a oblíbenost autora dle hodnocení serveru LEGIE [11].*

jméno autora	datum narození	oblíbenost	počty odpovědí	
16) Verne Jules	1828	9,3	22	28,2 %
8) Hans Dominik	1872	6	1	1,3 %
13) Karel Čapek	1890	9,8	0	0,0 %
3) Clarke Arthur Charles	1917	9,5	2	2,6 %
6) Pohl Frederik	1919	8,9	0	0,0 %
2) Asimov Isaac	1920	9,5	11	14,1 %
11) Bradbury Ray	1920	9,5	5	6,4 %
9) Stanisław Lem	1921	10	8	10,3 %
4) Harrison Harry Maxwell	1925	10	1	1,3 %
10) Anderson Poul William	1926	9,6	2	2,6 %
14) Wolfgang Jeschke	1936	8,8	1	1,3 %
17) Stasheff Christopher	1944	9	1	1,3 %
18) Feist Raymond	1945	10	3	3,8 %
5) King Stephen Edwin	1947	9,3	28	35,9 %
15) Pratchett Terry	1948	10	20	25,6 %
7) Sapkowski Andrzej	1948	9,4	2	2,6 %
1) Adams Douglas Noel	1952	9,3	40	51,3 %
12) Grandel Moremen			0	0,0 %

Tabulka 4.14 *Kategorie odpovědí na otázku, co je to bod.*

bod	počet odpovědí v kategorii	
nelze definovat	2	0,5 %
malý objekt	5	1,2 %
hodnocení	8	1,9 %
geometrické souřadnice	25	5,9 %
ostaní	26	6,1 %
bezrozměrný objekt	28	6,6 %
grafický symbol	30	7,1 %
označení prostoru	98	23,1 %
nechci odpovídat	172	40,6 %
bez odpovědi	30	7,1 %

Tabulka 4.15 *Kategorie odpovědí na otázku, co je to čas.*

čas	počet odpovědí v kategorii	
lidský výmysl	8	1,9 %
nelze definovat	8	1,9 %
relativní	10	2,4 %
filosofický pojem	12	2,8 %
opakovaný děj	17	4,0 %
plynutí	18	4,2 %
definice kruhem	28	6,6 %
fyzikální veličina	29	6,8 %
4. dimenze	30	7,1 %
ostatní	31	7,3 %
nechci odpovídat	197	46,5 %
bez odpovědi	36	8,5 %

Tabulka 4.16 *Kategorie odpovědí na otázku, co je to prostor.*

prostor	počet odpovědí v kategorii	
nelze definovat	2	0,5 %
filosofický pojem	7	1,7 %
ostatní	11	2,6 %
nekonečno	15	3,5 %
vše kolem nás	47	11,1 %
tři dimenze	57	13,4 %
definice kruhem	68	16,0 %
nechci odpovídat	185	43,6 %
bez odpovědi	32	7,5 %

Tabulka 4.17 *Kategorie odpovědí na otázku, co je to nicota.*

nicota	počet odpovědí v kategorii	
definice kruhem	7	1,7 %
je to tmavé	12	2,8 %
filosofický pojem	14	3,3 %
ostatní	15	3,5 %
prostor bez rozměru a času	17	4,0 %
beznaděj, bezvýznamnost	21	5,0 %
nelze definovat	27	6,4 %
vakuum	53	12,5 %
nechci odpovídat	222	52,4 %
bez odpovědi	36	8,5 %

4.2.4 Analýza dotazníků pomocí kontingenčních tabulek

Koeficienty kontingence

Vzhledem k nejednoznačnosti výpočtu koeficientů kontingence jsou zde uvedeny vztahy, podle nichž byl výpočet proveden.

Pearsonův koeficient kontingence

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}},$$

kde χ^2 je chí kvadrát a n je celkový počet odpovědí.

Čuprovův koeficient kontingence

$$K = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \cdot \sqrt{r + s - 2}}},$$

kde χ^2 je chí kvadrát, n je celkový počet odpovědí, r je počet řádků kontingenční tabulky a s je počet sloupců kontingenční tabulky.

Pro oba koeficienty platí, že čím jsou vyšší, tím je vyšší míra závislosti obou zkoumaných znaků.

Hypotézy (vizte kapitolu 4.2.2) jsou postaveny tak, aby bylo možné zkoumat závislost jednotlivých otázek. Nulová hypotéza vždy mluví o nezávislosti odpovědí mezi danými otázkami.

U následujících kontingenčních tabulek je vždy pod tabulkou uvedeno několik hodnot, přičemž χ^2 označuje testovou hodnotu chí kvadrát rozdělení, χ_{krit}^2 označuje kritickou hodnotu chí kvadrát rozdělení, C označuje Pearsonův koeficient kontingence, K je Čuprovův koeficient kontingence a p udává hodnotu *p-value*. Pearsonův koeficient kontingence i Čuprovův koeficient kontingence vyjadřují míru závislosti znaků. Blíží-li se Pearsonův koeficient kontingence 1, pak lze soudit, že znaky budou závislé, blíží-li se tento koeficient 0, pak jsou znaky nezávislé. Obdobně lze říci, že čím větší je Čuprovův koeficient, tím vyšší je míra závislosti a opačně.

Pro potřeby této práce jsou kontingenční tabulky uváděny jen v případech, kdy Pearsonův koeficient je větší než 0,3 nebo menší než 0,1. Ostatní případy v následujícím textu budou jen popsány bez uvádění kontingenčních tabulek.

Vyhodnocení dotazníků – korelace pro pohlaví

Při zpracování dotazníků se ukázala jistá velmi slabá korelace mezi pohlavím respondentů a zájmem o technické obory (vizte tabulku 4.18). Zde je však nutno připomenout, že v dotazníkovém šetření bylo žen o polovinu méně než mužů, proto tento závěr je potřeba brát s jistým ohledem na tento fakt. Velmi obdobný výsledek byl získán při vyhodnocení závislosti pohlaví a věku, ten je však dán tím, že výzkum byl proveden především na VOŠ a SPŠE v Plzni, kam chodí více chlapců než dívek (kontingenční tabulka nebude uvedena).

Vztah mezi pohlavím a oblibou knih, filmů či poslechem hudby se v dotazníkovém šetření neprokázal (Pearsonův koeficient 0,14).

Vztah mezi pohlavím a sledováním filmů, seriálů či dokumentů je dle výsledků šetření pravděpodobně nezávislý (vizte tabulku 4.19).

Vztahy mezi pohlavím a oblibou komiksů, povídek či románů (Pearsonův koeficient 0,15), nebo oblibou obrázků, rovnic či technických schémat (Pearsonův koeficient 0,19) ani oblibou sci-fi a fantasy (Pearsonův koeficient 0,17) se z dotazníkového šetření prokázat nepodařilo.

Z výzkumu se ukazuje, že korelace mezi pohlavím a možností výuky fyziky na příkladech ze sci-fi či fantasy (Pearsonův koeficient 0,1) je velmi malá. Z tohoto lze soudit, že příklady v této práci je možné použít pro výuku obou pohlaví.

Korelace mezi pohlavím a vnímáním reálnosti sci-fi a fantasy je opět neprůkazná (Pearsonův koeficient 0,14).

Vnímání, jak moc jsou sci-fi a fantasy příběhy z fyzikálního hlediska upravené autorem, je nezávislé na pohlaví (vizte tabulku 4.20).

Tabulka 4.18 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „I. Pohlaví“ a otázkou „III. Zájem o technické obory“.*

Zájem o techniku	Pohlaví		
	muži	ženy	součet
nemám	14	40	54
tu a tam	179	85	264
mám	88	17	105
součet	281	142	423
$\chi^2 = 54,17$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,34$		$K = 0,27$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,00\%$	

Tabulka 4.19 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „I. Pohlaví“ a otázkou „V. Sleduji nejraději“.*

Sleduji nejraději	Pohlaví		
	muži	ženy	součet
celovečerní filmy	124	60	184
seriály	114	66	180
dokumenty	43	17	60
součet	281	143	424
$\chi^2 = 1,58$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,06$		$K = 0,05$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 45,39\%$	

Tabulka 4.20 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „I. Pohlaví“ a otázkou „XIII. Domnívám se, že fyzika ve většině fantasy a sci-fi filmech či povídkách převážně“.*

Fyzika ve sci-fi	Pohlaví		
	muži	ženy	součet
odpovídá realitě	19	5	24
je upravená	186	102	288
nerespektuje realitu	75	35	110
součet	280	142	422
$\chi^2 = 2,33$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,07$		$K = 0,06$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 31,13\%$	

Vyhodnocení dotazníků – korelace pro věk

Vztah mezi věkem a zájmem o technické obory je vysoký (vizte tabulku 4.21). Zde ja však nutno poukázat na fakt, že výzkum byl proveden převážně na škole, která je technicky zaměřena.

Tabulka 4.21 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a otázkou „III. Zájem o technické obory“.*

Zájem o techniku	Věk			
	1–15	16–30	31–130	součet
nemám	26	20	8	54
tu a tam	60	172	32	264
mám	5	80	20	105
součet	91	272	60	423
$\chi^2 = 42,8$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,3$		$K = 0,22$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,00\%$		

Stejně tak je tomu s oblibou knih, filmů a hudby (vizte tabulku 4.22).

Korelace mezi věkem a sledováním filmů, seriálů či dokumentů se neukazuje jako významná (Pearsonův koeficient 0,23).

Pearsonův koeficient pro korelaci mezi věkem a oblibou komiksů, povídek či románů je shrnuta v tabulce 4.23. Ukazuje se, že mladší generace preferují komiksy, starší pak romány.

Korelaci mezi věkem a oblibou textu doplněného obrázky, rovnicemi či technickými schémata nelze prokázat (Pearsonův koeficient 0,15).

Korelace mezi věkem a oblibou sci-fi je také neprokazatelná (Pearsonův koeficient 0,14). Věk pravděpodobně nerozhoduje o oblibě tohoto žánru.

Tabulka 4.22 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a otázkou „IV. Nejraději“.*

Nejraději	Věk			součet
	1–15	16–30	31–130	
čtu	12	62	38	112
sleduji filmy	61	135	16	212
poslouchám hudbu	18	75	6	99
součet	91	272	60	423
$\chi^2 = 57,17$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,35$		$K = 0,26$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,00\%$		

Tabulka 4.23 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a otázkou „VI. Z knih čtu nejraději“.*

Nejraději čtu	Věk			součet
	1–15	16–30	31–130	
komiksy a časopisy	61	81	6	148
kratší povídky	9	75	20	104
romány	18	116	34	168
součet	88	272	60	420
$\chi^2 = 65,35$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,37$		$K = 0,28$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,00\%$		

Korelace mezi věkem a výukou fyziky za pomoci příkladů ze sci-fi či fantasy je velmi nízká, vizte tabulku 4.24. Vzhledem k podmínce kladené u kontingenčních tabulek na teoretické četnosti je tabulka 4.24 redukována pouze na věkové kategorie 1 – 15 let a 16 – 30 let.

Velmi nízká korelace se též ukazuje mezi věkem a reálností sci-fi či fantasy (tabulka 4.25) a mezi věkem a reálností fyzikálních zákonů ve sci-fi či fantasy (tabulka 4.26). Jak se zdá, sci-fi je chápáno jako zcela vymyšlený příběh.

Tabulka 4.24 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a otázkou „IX. Kdyby se fyzika na škole vysvětlovala na příkladech některých sci-fi nebo fantasy příběhů, bylo by to“.*

Výuka na příkladech	Věk		
	1–15	16–30	součet
dokonalé	15	29	44
zajímavé	60	117	177
k ničemu	9	25	34
součet	84	171	255
$\chi^2 = 0,74$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,05$		$K = 0,04$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 68,93\%$	

Tabulka 4.25 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a otázkou „XII. Myslím si, že svět momentálně vykreslený ve většině sci-fi filmech či povídkách je“.*

Svět ve sci-fi je	Věk			
	1–15	16–30	31–130	součet
možný	11	33	9	53
jen z části možný	56	186	41	283
nemožný	24	53	10	87
součet	91	272	60	423
$\chi^2 = 2,93$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,08$		$K = 0,06$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 56,96\%$		

Tabulka 4.26 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a otázkou „XIII. Domnívám se, že fyzika ve většině fantasy a sci-fi filmech či povídkách převážně“.*

Fyzika ve sci-fi	Věk			
	1–15	16–30	31–130	součet
odpovídá realitě	4	17	3	24
je upravená	68	179	41	288
nerespektuje realitu	18	75	16	109
součet	90	271	60	421
$\chi^2 = 2,9$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,08$		$K = 0,06$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 57,43\%$		

Vyhodnocení dotazníků – ostatní korelace

V této kapitole jsou uvedeny jen kontingenční tabulky, které jsou nějakým způsobem významné.

Z dotazníkového šetření vyplývá, že největší závislost lze hledat v korelaci mezi oblibou sci-fi či fantasy a výukou fyziky na příkladech z těchto žánrů (vizte tabulku 4.27).

Tabulka 4.27 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „IX. Kdyby se fyzika na škole vysvětlovala na příkladech některých sci-fi nebo fantasy příběhů, bylo by to“ a otázkou „VIII. Sci-fi nebo fantasy“.*

Sci-fi nebo fantasy	Výuka fyziky pomocí sci-fi a fantasy			
	dokonalé	zajímavé	o ničem	součet
miluji nadevše	28	39	3	70
občas se mi líbí	16	122	17	155
nezajímá mě	1	23	17	41
součet	45	184	37	266
$\chi^2 = 64$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,44$		$K = 0,35$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,00\%$		

Otázka přijetí výkladu, cvičných úloh či příkladů popisujících sci-fi na středních školách byla řešena v závislosti na zájmu o technické obory (tabulka 4.28) a oblíbenosti sci-fi (tabulka 4.27). V případě vztahu k technice je sice závislost nízká, ale pravděpodobnost nezávislosti je pouhých 0,99 %. V případě vztahu k oblibě sci-fi či fantasy se ukazuje velmi vysoká závislost. Z uvedeného lze předpokládat, že dle hodnot uvedených v tabulce 4.3 by výuku fyziky na středních školách v Plzni praktikované na příkladech sci-fi či fantasy ocenilo 77,8 % studentů. Dle tabulky 4.4 by v Erlangenu tento přístup ocenilo 62,8 % studentů.

Tabulka 4.28 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „IX. Kdyby se fyzika na škole vysvětlovala na příkladech některých sci-fi nebo fantasy příběhů, bylo by to“ a otázkou „III. Zájem o technické obory“.*

Zájem o techniku	Výuka fyziky pomocí sci-fi a fantasy			
	dokonalé	zajímavé	o ničem	součet
nemám	5	22	10	37
tu a tam	30	126	14	170
mám	10	36	13	59
součet	45	184	37	266
$\chi^2 = 13,29$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,22$		$K = 0,16$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,99\%$		

Mezi odpověďmi na otázky z druhé části dotazníku se nejvyšší korelace nachází ve vztahu k věku respondentů (Pearsonův koeficient 0,23, vizte tabulku 4.29). Dále ve vztahu k domněnce o fyzice ve sci-fi (otázka XIII. Pearsonův koeficient 0,19) a k zájmu o technické obory (Pearsonův koeficient 0,23, vizte tabulku 4.30). Výzkum neprokázal významější korelaci mezi oblíbeností sci-fi a těmito otázkami. Kategorie správných odpovědí byly stanoveny tak, aby nejnižší a nejvyšší bodový zisk zahrnoval 25 % (dolní a horní kvartil) respondentů a ve střední kategorii bylo 50 % respondentů.

Tabulka 4.29 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „II. Věk“ a počtem správných odpovědí na otázky z druhé části dotazníku.*

počet odpovědí	Věk			
	1–15	16–30	31–130	součet
0 – 11	28	41	18	87
12 – 15	51	143	21	215
16 – 21	12	88	21	121
součet	91	272	60	423
$\chi^2 = 24,56$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,23$		$K = 0,17$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,01 \%$		

Tabulka 4.30 *Kontingenční tabulka, vztah mezi otázkou: „III. Zájem o technické obory“ a počtem správných odpovědí na otázky z druhé části dotazníku.*

počet odpovědí	Zájem o techniku			
	mám	tu a tam	nemám	součet
0 – 11	28	41	18	87
12 – 15	51	143	21	215
16 – 21	12	88	21	121
součet	91	272	60	423
$\chi^2 = 22,62$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 9,49$		
$C = 0,23$		$K = 0,16$		
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,02 \%$		

4.2.5 Závěry dotazníkového šetření

Rozborem dotazníkového průzkumu bylo zjištěno následující:

Hypotézu „ H_0 : Obliba sci-fi nebo fantasy žánru je nezávislá na zájmu o vysvětlení některých sci-fi nebo fantasy příběhů.“ na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zamítáme, neboť Pearsonův koeficient kontingence je $C = 0,44$.

Tento závěr lze potvrdit i kvalitativně, neboť studenti často velmi kladně hodnotí hodiny fyziky, kdy se pedagog zabývá některými specifiky sci-fi filmů.

Hypotézu „ H_0 : Nezájem o sci-fi nebo fantasy má méně než 25 % respondentů.“ lze potvrdit, neboť pouze 10 % respondentů sci-fi nebo fantasy vůbec nezajímá.

Z výzkumu též vyplývá, že 2/3 studentů mají kladný vztah ke sci-fi, celá třetina sci-fi či fantasy neholduje. Ve stejném poměru jsou i odpovědi respondentů popisujících svůj zájem či nezájem o technické obory. Korelace mezi skupinou mající zájem o sci-fi a mající zájem o technické obory je slabá, Pearsonův koeficient kontingence je u těchto skupin $C = 0,22$.

Hypotézu „ H_0 : Většina (alespoň 75 %) respondentů zná alespoň dva uvedené filmy, seriály nebo autory.“ lze potvrdit jen částečně, neboť 75 % respondentů zná alespoň dva uvedené filmy, stejné množství respondentů zná alespoň čtyři uvedené seriály. Bohužel 75 % respondentů zná nejvýše jednoho uvedeného autora.

Hypotézu „ H_0 : Počet odpovědí na otázky z druhé části dotazníků je nezávislý na charakteristice respondentů.“ nelze potvrdit, neboť na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ se ukazuje, že zájem o technické obory a věk respondentů ovlivňuje odpovědi na položené otázky. Pearsonův koeficient kontingence pro věk a množství zodpovězených otázek je $C = 0,23$. Pearsonův koeficient kontingence mezi zájmem o technické obory a odpověďmi na položené otázky je $C = 0,23$.

V dotazníkovém šetření stojí určité za povšimnutí, že některá klišé, například: „Možnost vidět lidi v budovách pomocí termovize“, jsou natolik vžitá, že nejsou s vyšším věkem zavržena.

Hypotézu „ H_0 : Čtenářská gramotnost je nezávislá na způsobu definování pojmů *bod*, *čas*, *prostor* a *nicota*.“ nelze potvrdit ani vyvrátit, neboť čtenářská gramotnost je u většiny respondentů natolik nízká, že nelze využít žádnou testovací charakteristiku.

Odpovědi na otázku „Kolik procent respondentů zná alespoň polovinu uvedených filmů, seriálů nebo autorů?“ jsou:

- Alespoň polovinu uvedených filmů zná méně než 20 % respondentů.
- Alespoň polovinu uvedených seriálů zná méně než 50 % respondentů.
- Alespoň polovinu uvedených autorů zná méně než 10 % respondentů.

Z uvedených odpovědí plyne, že výukové materiály by měly být zaměřeny především na filmové ukázky. Z dotazníkového šetření také vyplývá, že skoro 50 % respondentů vůbec nečte a počet zhlédnutých filmů je mnohem větší než počet přečtených knih. Navíc je nutno zohlednit i mnohem jednodušší představení filmové ukázky než ukázky literární. Pokud vybírat autory literárních děl, pak pouze ty, kteří jsou v doporučené četbě na školách, neboť ostatní autoři jsou známi jen fanouškům tohoto žánru.

Z filmových ukázek je nutno se zaměřit především na filmy, které jsou v televizi často opakované, či na filmy nové. Starší filmy velmi rychle upadají do zapomnění a je nutno je studentům připomenout. Známé jsou především americké hollywoodské filmy a seriály.

Z dalších závislostí se ukazuje, že sci-fi je chápáno jako zcela vymyšlený příběh (vizte tabulky 4.25 a 4.26).

Dále se ukazuje, že věk nerozhoduje o oblíbenosti sci-fi a fantasy žánru. Věk však ovlivňuje preferovanou formu. Mladší generace respondentů preferují komiksy, starší pak romány.

Z dotazníkového šetření také plyne, že 3/4 studentů by výuku fyziky na středních školách praktikované na příkladech sci-fi či fantasy ocenilo.

Korelace mezi pohlavím a možností vyučovat fyziku pomocí příkladů ze sci-fi či fantasy (Pearsonův koeficient $C = 0,1$) je velmi malá. Z tohoto lze soudit, že příklady v této práci je možné použít pro výuku obou pohlaví.

Kapitola 5

Zpracované sci-fi a fantasy ukázky

5.1 Řazení ukávek a obecný popis

Ukázky v této kapitole budou řazeny dle stávajícího rámcového vzdělávacího plánu pro střední školy v oboru elektrotechnika (varianta A) [75] dle Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy. (Tento rámcový vzdělávací plán vstoupil v platnost 28. června 2007.)

- Mechanika
 - pohyby přímočaré, pohyb rovnoměrný po kružnici, skládání pohybů
 - vztažná soustava, Newtonovy pohybové zákony, síly v přírodě
 - mechanická práce a energie
 - gravitační pole, Newtonův gravitační zákon, gravitační a tíhová síla, pohyby v gravitačním poli, sluneční soustava
 - mechanika tuhého tělesa
 - mechanika tekutin
- Molekulová fyzika a termika
 - základní poznatky termiky
 - teplo a práce, přeměny vnitřní energie tělesa, tepelná kapacita, měření tepla
 - částicová stavba látek, vlastnosti látek z hlediska molekulové fyziky
 - stavové změny ideálního plynu, práce plynu, tepelné motory
 - struktura pevných látek, deformace pevných látek, kapilární jevy
 - přeměny skupenství látek, skupenské teplo, vlhkost vzduchu
- Mechanické kmitání a vlnění
 - mechanické kmitání
 - druhy mechanického vlnění, šíření vlnění v prostoru, odraz vlnění
 - vlastnosti zvukového vlnění, šíření zvuku v látkovém prostředí, ultrazvuk
- Elektřina a magnetismus
 - elektrický náboj tělesa, elektrická síla, elektrické pole, tělesa v elektrickém poli, kapacita vodiče

- elektrický proud v kovech, zákony elektrického proudu, elektrické obvody, elektrický proud v polovodičích, kapalinách a v plynech
 - magnetické pole, magnetické pole elektrického proudu, magnetická síla, magnetické vlastnosti látek, elektromagnetická indukce, indukčnost
 - vznik střídavého proudu, obvody střídavého proudu, střídavý proud v energetice, trojfázová soustava střídavého proudu, transformátor
 - elektromagnetické kmitání, elektromagnetický oscilátor, vlastní a nucené elektromagnetické kmitání, rezonance
 - vznik a vlastnosti elektromagnetického vlnění, přenos informací elektromagnetickým vlněním
- Optika
 - světlo a jeho šíření
 - elektromagnetické záření, spektrum elektromagnetického záření, rentgenové záření, vlnové vlastnosti světla
 - zobrazování zrcadlem a čočkou
 - Speciální teorie relativity
 - principy speciální teorie relativity
 - základy relativistické dynamiky
 - Fyzika mikrosvěta
 - základní pojmy kvantové fyziky
 - model atomu, spektrum atomu vodíku, laser
 - nukleony, radioaktivita, jaderné záření, elementární a základní částice
 - zdroje jaderné energie, jaderný reaktor, bezpečnostní a ekologická hlediska jaderné energetiky
 - Astrofyzika
 - Slunce a hvězdy
 - galaxie a vývoj vesmíru
 - výzkum vesmíru

Ne vždy je však možné ukázkou jednoznačně zařadit, neboť v některých zpracovaných textech se vyskytuje více tematických celků učiva. Tyto ukázky jsou řazeny dle hlavního tématu.

V textech je také dodržováno jednotné označení F_T pro tíhovou sílu. Toto přeznačení je použito záměrně, neboť index studentům napovídá, že se jedná o tíhu. Označení F_G totiž většině studentů navodí pocit, že se jedná o gravitační sílu. V případě užití vektorů bude užita šipka nad fyzikální značkou.

Každou ukázkou charakterizuje několik částí, které mají následující význam:

- Cíle, kompetence a zařazení do výuky – zde lze hledat popis očekávaných výstupů, možností zařazení ukázky do hodin fyziky, popis výukových metod, které lze uplatnit při prezentaci, odhad časové náročnosti prezentace.
- Uvedení do situace – jedná se o motivační nástin toho, co ukázkou v knize či filmu předcházelo, nebo popis filmové ukázky pro potřeby výuky bez možnosti promítání.

- Ukázka – vlastní text ukázky či videa, který bude dále zpracováván.
- Další vývoj ukázky – obsahuje informace o tom, jak ukázka dopadne. Tato sekce často obsahuje spoilery k danému filmu či seriálu.
- Předpoklady a strategie řešení – popisují to, čím se budeme zabývat a zdůvodnění užitých postupů.
- Získaná data – zde jsou shrnuty nutné informace k řešení. Data, ze kterých budeme dále vycházet, souhrn informací vyskytujících se v knize či filmu na jejichž základě bude dále vytvořen matematický či fyzikální model.
- Výpočty – tato část obsahuje vlastní výpočty a řešení.
- Diskuse řešení – rozbor řešení a diskuse nad řešením.
- Text k prezentacím – popis jednotlivých snímků prezentace a možnosti jejich použití.
- Poučení – krátké poučení plynoucí z řešení a z ukázky.

Texty uváděné v této kapitole by měly sloužit učitelům k doplnění a zdůvodnění prezentací. V případě některých nejasností by se v těchto textech mělo dát dohledat, proč a za jakých okolností platí vztahy použité pro řešení problému.

Kapitoly označené hvězdičkou jsou rozšířením látky rámcových vzdělávacích plánů.

V celé práci je snaha o co nejjednodušší dohledatelnost potřebných údajů. Údaje je možné dohledat buď v tabulkách „**Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy**“ [76] nebo na „**Wikipedie: otevřená encyklopedie**“ [77]. Složitější výpočty lze zadat do „**Wolfram — Alpha knowledgebase**“ [78].

Stránky www.wolframalpha.com by měl znát v dnešní době každý student i učitel, neboť na těchto stránkách lze provádět i netriviální výpočty, které by běžný student nezvládl, neboť pro tyto výpočty nemusí mít dostatečné matematické znalosti.

Samotné prezentace jsou určeny přímo do hodin fyziky. Prezentace jsou psané tak, aby je bylo možné exportovat jako obrázky či jako pdf dokument a plnily nadále svůj účel. Z tohoto důvodu jsou prezentace bez takzvaných animací. Jednotlivé snímky obsahují pouze přidání odstavce nebo vzorec. Prezentace jsou vytvářeny tak, aby je bylo možné v hodině uvést během maximálně 20 minut, u delších prezentací je na jejich časovou náročnost upozorněno předem.

Videa na prezentacích jsou konvertována do formátu AVI. K jejich spuštění je potřeba mít nainstalovaný kodek DIVX, audio stopa je ve formátu MP3(lame). Tyto kodeky byly zvoleny s ohledem na přenositelnost na různé softwarové platformy, jedná se totiž o nejrozšířenější kodeky a jsou implementovány prakticky v každém operačním systému.

Každá prezentace obsahuje na několika prvních snímcích skryté poznámky. Lektor by si tyto poznámky měl před prezentováním pročíst, neboť v poznámkách jsou doplněny některé údaje a je zde vysvětleno použití prezentace v hodině. Na dalších snímcích již poznámky nejsou, neboť bývá pohodlnější si všechny poznámky přečíst na začátku, než je hledat u jednotlivých snímků.

5.2 Mechanika

5.2.1 Pohyb rovnoměrný po kružnici – pohyb Země kolem Slunce

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Z ukázky je možné výpočtem ověřit platnost tvrzení hlavního hrdiny Doktora Who a dále si student procvičí převody jednotek.

Student by měl umět uplatnit vztahy týkající se pohybu hmotného bodu po kružnici na tělesa ve Sluneční soustavě. Měl by si být vědom zákona setrvačnosti. Získá tak zdatnost v práci s informacemi, zdatnost ve vytváření a využívání fyzikálních modelů, zdatnost při řešení problémů matematickými postupy, zdatnost v matematických úpravách rovnic a zdatnost v zaokrouhlování.

V prezentaci je užita klasická výuková metoda názorně demonstrační – ukázka, prezentaci lze využít i jako aktivizující metodu – inscenační. Z komplexních výukových metod lze prezentaci využít k průpravě pro partnerskou výuku.

Multimediální ukázku je vhodné využít jako motivační ukázku do hodin astronomie. V prezentaci je též připomenuta definice funkce kosinus.

Uvedení do situace

Doktor Who pochází z daleké budoucnosti a je mimozemským cestovatelem v čase a prostoru. Cestuje ve hvězdné lodi jménem *Tardis*. Tato loď má navenek podobu modré policejní telefonní budky, v ukázce je vidět v pozadí. Děj seriálu se odehrává převážně v Anglii.

V dané ukázce se Doktor Who seznámil s novou společnicí Rose, která se jej ptá, kdo vlastně je. Doktor Who jí však neodpoví přímo, ale odpoví, že on je ten, kolem kterého se vše točí. Ten, kdo cítí, jak se Země otáčí rychlostí $1\,600\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ a jak se pohybuje kolem Slunce rychlostí přes $100\,000\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$.

Ukázka

V ukázce 5.1 je popisována rychlost otáčení Země a rychlost pohybu Země kolem Slunce.

Další vývoj ukázky

Rose se nakonec k doktorovi přidá a doprovází jej na mnoha cestách jak v čase, tak po celé Galaxii. Během cest zažije mnoho dobrodružství.

Předpoklady a strategie řešení

Zkusme prověřit, zda informace v ukázce jsou pravdivé. Dále můžeme zkusit odhadnout, na kterém místě zeměkoule by se děj v ukázce měl odehrávat (měla by to být anglicky mluvící země).

Pro odhad předpokládejme, že Země se kolem Slunce pohybuje po kružnici. Zemi budeme považovat za dokonalou kouli.



_Video/K1C01/astronomie_RychlostPohybu_DoctorWhoS01E01.avi

Film 5.1: Ukázka ze seriálu „Doktor Who“ (S01E01) [79]

Ve výpočtech by se měla zohlednit doba rotace Země a doba oběhu Země kolem Slunce vůči vzdáleným hvězdám, takzvaná siderická doba. Vzhledem k malému rozdílu mezi hvězdným a slunečním dnem a předchozímu předpokladu kruhové trajektorie však můžeme dosazovat délku slunečního dne a délku běžného kalendářního roku.

Získaná data

Doktor Who udává rychlost otáčení Země $1\,600\text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$ a rychlost pohybu Země kolem Slunce přes $100\,000\text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$.

Z tabulek [76] nebo Wikipedie [77] určíme poloměr Země $R_Z = 6\,378\text{ km}$ a vzdálenost Země od Slunce $R_{ZS} = 149\,597\,887\text{ km}$.

Výpočty

Pro výpočet obvodové rychlosti v_o otáčení Země použijeme vztah

$$v_o = \frac{2\pi}{T} \cdot R, \quad (5.1)$$

kde T je perioda otáčení Země a R je vzdálenost pozorovatele od osy otáčení. Pozor, za periodu bychom správně měli dosadit siderický den, to jest $T = 23\text{ hod } 56\text{ min } 4\text{ s}$ a za R poloměr Země. Po dosazení vychází obvodová rychlost $v_o \doteq 465\text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 1\,674\text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$. Touto rychlostí by se pozorovatel pohyboval na rovníku.

Pro rychlost pohybu Země kolem Slunce použijeme opět rovnici 5.1, za vzdálenost tentokrát dosadíme R_{ZS} a za periodu délku siderického roku, to jest $T = 365\text{ d } 6\text{ h } 9\text{ min } 9\text{ s}$. Vše samozřejmě v základních jednotkách SI soustavy. Po dosazení vychází rychlost $v_{ZS} \doteq 29,78\text{ km}\cdot\text{s}^{-1} = 107\,225\text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$.

Obdobně postupujeme při dosazování periody slunečního dne a běžného kalendářního roku.

Diskuse řešení

Vypočítaná rychlost pohybu Země kolem Slunce odpovídá uvedeným hodnotám v ukázce, stejně tak odpovídá obvodová rychlost $1\,674\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ otáčení Země.

Úvahu si můžeme rozšířit. Protože lze předpokládat, že se Doktor Who nikdy nevyjadřuje neurčitě, můžeme dopočítat, na které rovnoběžce se nachází. Obvodovou rychlost berme přesně $1\,600\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ (tak jak udává v ukázce Doktor Who) a dopočítejme vzdálenost pozorovatele od osy otáčení. Zemi považujme za dokonalou kouli.

Po dosažení rychlosti $1\,600\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ do rovnice 5.1 vychází vzdálenost místa, kde se doktor nachází, od osy otáčení na $R = 6\,095\text{ km}$.

Z rovnice

$$\cos \phi = \frac{R}{R_Z}, \quad (5.2)$$

kde ϕ je úhel v pravoúhlém trojúhelníku s přeponou R_Z nebo také rovnoběžka. Po dosažení vychází úhel $\phi = \pm 17^\circ$ zeměpisné šířky.

Tento úhel rozhodně neodpovídá poloze Anglie, kde se většina dílů seriálu odehrává, neboť Londýn leží na 51° severní šířky. Jestliže se má jednat, jak předpokládáme, o anglicky mluvící zemi, pak 17° odpovídá na jižní polokouli město Cairns ve státě Queensland v Austrálii.

S tvrzením Doktora Who o tom, že cítí tento pohyb nelze souhlasit, může za to setrvačnost. Lze však pozorovat otáčení Země, a to pozorováním pohybu stínu vrženého nějakým předmětem, pokud neargumentujeme tím, že se neotáčí Země, ale Slunce Zemi obíhá. V noci je pak krásným důkazem otáčení hvězd, opět je však třeba si dát pozor na argument, že hvězdy jsou přišpendlené na nebeské sféře, která se otáčí.

Důkazem otáčení Země by mohla být i rotace tlakových níží i výší v atmosféře způsobená Coriolisovou silou. Pozor, voda vytékající z nálevky tento jev nezaznamená, zde se Coriolisova síla neprojeví, neboť je velmi malá. Dalším možným důkazem otáčení Země je stáčení roviny kyvu Foucaultova kyvadla. Je velmi nepravděpodobné, že Doktor Who by tento jev dokázal cítit.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze C.

Na snímku 2 a 3 jsou informace o tom, co se v prezentaci bude řešit. Na snímku 4 je ukázka ze seriálu „Doktor Who“, vizte ukázkou 5.1.

Na snímcích 5 až 11 je diskuse. Zde studenti mohou připomenout základní údaje o Zemi, to jest periodu otočky kolem osy a periodu oběhu kolem Slunce. Zde předpokládáme, že odpoví tak, jak je na snímcích ukázáno. Pro zajímavost je na snímcích 12 a 13 uvedena doba siderického dne a roku. Je vhodné studentům vysvětlit rozdíl mezi siderickým (hvězdným) dnem nebo rokem a běžným slunečním dnem nebo běžným kalendářním rokem. Siderický čas udává skutečnou dobu rotace nebo oběhu vůči vzdáleným hvězdám.

Údaje na snímcích 14 až 19 lze dohledat na Wikipedii či v Matematicko-fyzikálních tabulkách. Je dobré, aby si tyto údaje studenti dohledali sami. Tento postup sice zdržuje hodinu, avšak studenti jsou následujícími výpočty více motivováni.

Snímek 20 je určen pro studenty, zde mají prostor si vzpomenout nebo vyhledat vztah pro obvodovou rychlost. Snímek 21 obsahuje správný vzorec pro obvodovou rychlost hmotného bodu při pohybu po kružnici. Vzorec je možné odvodit.

Snímek 22, 25 a 29 lze využít k samostatné práci či práci ve dvojicích. Vhodnější jsou dvojice, neboť tak je zajištěno, že studenti nenahlásí nesmyslný výsledek a výsledky si spíše překontrolují se spolužákem. U snímků 23 a 26 je možné studentům připomenout zaokrouhlování na platné cifry. Zde stojí za zmínku rozdíl mezi výsledkem po dosažení periody zaokrouhlené na sekundy a na dny. Jak je vidět, rozdíl ve výsledcích je nepatrný. Takto přesné výsledky jsou zde uvedeny jen pro srovnání, neboť by bohatě postačil výsledek zaokrouhlený na tři platné cifry.

Na snímcích 27 až 32 je proveden výpočet místa na zeměkouli, kde by se Doktor Who mohl nacházet. U snímku 31 lze připomenout definici matematické funkce kosinus či nechat studenty ve dvojicích vypočítat výsledný úhel.

Snímky 33 až 34 popisují důvod, proč nás zajímá pouze anglicky mluvící země. Snímek 35 byl do prezentace vložen jako možnost mezioborové interakce fyziky a zeměpisu. Pokud je v hodině dostupné internetové připojení, mohou si studenti sami dohledat města, ve kterých by se mohl Doktor Who nacházet.

Na snímku 36 a 37 je krátké poučení.

Poučení

Díky setrvačnosti nelze přímo pozorovat rotaci Země. Kdyby neexistovala setrvačnost, pak by se nám Země na rovníku otáčela pod nohama rychlostí $1\,674\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$, a to by poněkud znesnadňovalo pohyb.

Ne vždy je potřeba počítat s přesností na jednu sekundu či metr. V případě odhadů si vystačíme i s hrubším zaokrouhlením na hodiny, dny nebo kilometry.

Rotaci zeměkoule je možné pozorovat například pomocí stáčení roviny kmitu Foucaultova kyvadla v delším časovém intervalu.

5.2.2 Newtonovy pohybové zákony – hybnost

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Příklad se hodí k výuce zákona zachování hybnosti.

Student by měl porozumět zákonu zachování hybnosti a být schopen odhadnout, jaký vliv na hybnost budou mít tělesa o různé hmotnosti a rychlosti.

V prezentaci je užita klasická výuková metoda názorně demonstrační – ukázka, dále pak aktivizující metoda – situační. Prezentace může posloužit také jako cvičení na výpočet hybnosti různých těles.

Obě ukázky se hodí jako motivační úlohy na středních školách. Ukázku z filmu je možné použít i jako příklad k probírané látce.

V ukázce z knihy je zmínka o rotačním pohybu. Zde je možné diskutovat o pohybu po kružnici a o špatné úvaze autora textu, který pozapomněl na nutnost existence dostředivé síly při pohybu po kružnici.

V ukázce z filmu je možné odhadnout rychlost hlavního hrdiny po střelbě.

Uvedení do situace

Děj se odehrává v budoucnosti, kdy se Země nachází v době ledové a lidé se snaží získat suroviny z jiných planet. Hlavní hrdina je nesmrtelný, neboť jeho vědomí bylo omylem vloženo do uměle vytvořeného těla.

Lidstvo se snaží těžít suroviny na Titanu. Hlavní hrdina po explozi dopravní lodi, která převáží na Zemi suroviny z Titanu, letí volným prostorem a přibližuje se k Měsíci. Vzhledem k tomu, že hlavní hrdina je nesmrtelný, nemusí řešit obtíže spojené s dýcháním kyslíku.

Zde je uvedena delší ukázka z knihy, do prezentace byla ukázka zkrácena na dva snímky.

V ukázce z filmu je řešen opačný problém, kdy se hlavní hrdina snaží uniknout vojenské hlídce. Při průletu středem zeměkoule se ocitne ve stavu beztíže. Pomocí hybnosti, kterou získá vystřelením střel ze samopalů, se snaží získat rychlost k úniku, a dostat se tak do bezpečí.

Ukázka

KULHÁNEK, Jiří. *STRONCIUM* [80]

« Jak jsem letěl, mé zaměřovací systémy vyhodnocovaly a zpřesňovaly trajektorii a bylo čím dál jasnější, že prolétnu za Měsícem (který mne tím pádem ještě urychlí) a po směle křivce vezmu oblíbený směr Magellan. Potřebuju snížit rychlost a zároveň prosvištět před Měsícem, aby mne jeho gravitační pole zpomalilo a obtočilo dokola, ne vykoplo dál.

Mohl bych se svléci ze skafandru, rozebrat ho, a jednotlivé kusy házet pod patřičným úhlem. Jenže z výpočtu své síly a hmoty skafandru jsem došel k závěru, že když už daleký vesmír, tak oblečený.

Je to hloupé, ale ve vzduchoprázdné beztíži se zákonu akce a reakce díváte do očí až příliš zpřímá - můžete kroužkovat jak diví, můžete tančit dervišské tance - pořád Magellan.

Další možnost je samozřejmě beretta - sice nevím, jakou přesně energii mi zpětný ráz předá, ale kope pěkně. Problém je, že je v ní pořád spousta metanového ledu - v hlavni, například.

Sundal jsem si přilbu a rukavice - dobré bylo, že vše stačilo dávat do prostoru a nemusel jsem mít strach, že mi něco ulétne.

Vytáhl jsem pistoli a jak jsem rotoval, držel ji co nejvíc ke Slunci - začalo se z ní okamžitě kouřit, a uvolňující se plyn pracoval pro mne (ale fakt, fakt málo). Nechal jsem to, dokud to nepřestalo, přidržel přilbu a rukavice (plyn mne přece jen trochu zpomalil) a pak pistoli rozebral a prohlédl.

Všechno trochu drhlo, protože mazivo vzalo za své v titanském oceánu, ale mechanismus nevázl. Plast nábojnic vydrží klidně i rok pod vodou, a protože v metanu nenabobtnal, o municí strach nemám - to spíš o hlaveň, ale sluneční svit zbraň hezky ohříval, tak se snad neroztrhne. Měl jsem jeden zásobník s patnácti náboji a dvacet pět nábojů volně. Vyskládal jsem je do prostoru před sebe, ještě jednou přepočítal a celé to složil. Zbylé náboje do kapsy.

Čas brzdit.

Jako první jsem se potřeboval zbavit rotace - ne že by se mi dělalo špatně, ale delikátní navigace, která mne čeká, bude chtít tolik přesnosti, kolika jsem schopen. Oběma rukama jsem sevřel přilbu a vši silou ji vrhl patřičným směrem - hvězdy přestaly kroužit, zato rukavice začaly. Když je chytanu, zas mne trochu roztočí, ale když je pak zahodím, snad mne rotačního pohybu zbaví úplně.

A ano.

Brzdit se nedá ani moc brzo, ani moc pozdě; k tomu jsem potřeboval zjistit, jak přesně mne zpomalí jedna rána - znovu tedy zaměřovací systémy, vyhodnocení těžiště, okamžiku, směru a ...

Myslel jsem, že uslyším aspoň něco, ale tak tichý výstřel asi ještě nepadl. Pažba kopla do dlaně, a do prostoru vyrazil mrak spalin. Pečlivě jsem zbraň obhlédl, a Italové opravdu vědí, co dělají.

Letěl jsem dál, zaměřovací systémy měřily úhly a já počítal, o kolik mne to zpomalilo. Hmmm. Došel jsem k závěru, že když v přesně daném časovém rozmezí vystřelím přesně daným směrem přesný počet nábojů (přesně řečeno sedmáct), přejdu na sestupnou dráhu a možná se o Měsíc ani moc nerozmáznu. »

Další vývoj ukázky

V knize se hlavní hrdina výstřely zpomalí natolik, že se mu podaří dopadnout na Měsíc „rozumnou rychlostí“. V jeho případě spíše doskočit. Následně si na Měsíci sestrojí raketu (pojmenuje ji *LONGIN*), s níž se dostane na Zemi. Vyrobená raketa je popsána v kapitole 5.2.6. Ilustrace ke knize je na obrázku 5.1.

Ve filmu 5.2 nakonec hrdina uteče a dostane se do bezpečí.

Předpoklady a strategie řešení

V prvním odstavci ukázky je celkem pěkně popsána možnost zrychlení rakety kolem většího tělesa. Zde je nutno připomenout, že gravitační prak, jak je zmíněno v ukázce, funguje jen v případě, že větší těleso (Měsíc) se pohybuje. Kdyby se nepohyboval, nebylo by možné raketu urychlit.

Je zde také zmínka o odkládání věcí do volného prostoru. Tady bohužel nelze s autorem souhlasit, neboť při otáčení by žádné z odložených těles nezůstalo na místě.



Obrázek 5.1 *Ilustrace k ukázce z knihy, autorka Marcela Píptová*



Film 5.2: *Ukázka z filmu „Total Recall“ z roku 2013 [81]*

Při uvolnění se odložené těleso bude bez působení dostředivé síly dále pohybovat rovnoměrně přímočaře ve směru tečny kružnice, po které se těleso předtím pohybovalo. Hlavní hrdina by velmi brzy o věci přišel. Tato část se v prezentaci nenachází, neboť na ni z hlediska zákona zachování hybnosti není nic zajímavého.

Další část ukázky se zabývá hybností. Zde se pustíme do odhadu změny rychlosti po výstřelu ze zbraně.

Je nutné si uvědomit, že hlavní hrdina nesmí střílet, jak se mu zachce, musí vystřelit pouze v takovém směru, v němž pomyslná přímka trajektorie střely bude procházet jeho těžištěm. V opačném případě by došlo k nežádoucí rotaci. Výstřelem, jehož směr by byl mimo těžiště, by došlo k vytvoření otáčivého momentu a hrdina by se začal opět točit. Ve filmové ukázce je tento fakt ignorován.

Samozřejmě by bylo zajímavé odhadnout, i jak moc by se zbraň vystavená slunečním paprskům ohřála.

Filmová ukázka 5.2 je zde uvedena jako názorný příklad.

Získaná data

Tabulka 5.1 Beretta 92, náboj ráže 9 mm Luger a další informace [77]

rychlost výstřelené kulky	$v_s = 375 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
hmotnost střely ráže 9 mm	$m_s = 8 \text{ g}$
počet výstřelů	17
hmotnost hrdiny	$m_h = 200 \text{ kg}$
hmotnost přilby	$m_p = 4,5 \text{ kg}$
rychlost hodů	$v_p = 47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Údaje v tabulce 5.1 jsou jen orientační. Náboje 9 mm Luger se totiž liší v údajích od různých výrobců, stejně tak zbraní Beretta 92 je více různých typů. Údaje je možné dohledat na Wikipedii [77].

Hmotnost hlavního hrdiny odhadněme na $m_h = 200 \text{ kg}$. Do této hmotnosti započítáme i kombinézu, kterou hrdina nikam neodhazuje. Při odhadu skafandru vycházejme z hmotnosti uváděné na stránkách [83], kde je uvedeno, že celý skafandr EVA má hmotnost kolem 120 kg.

Rychlost odhození helmy lze odhadnout z rekordu Aroldise Chapmana, který v roce 2010 dosáhl světového rekordu v nadhozu v baseballu. Předpokladem je, že hlavní hrdina je schopný hodit jak malým míčkem, tak i velkou helmou stejně silně a rychle. Je to přece hrdina a silák, že?

Výpočty

Vyjdeme ze vztahu

$$p = m \cdot v, \quad (5.3)$$

kde p označuje hybnost, m hmotnost tělesa a v rychlost tělesa.

Pro výpočet změny rychlosti hlavního hrdiny si nejdříve spočítáme hybnost střely a hybnost přilby. Dosazením údajů z tabulky 5.1 do vztahu 5.3 dostáváme velikost hybnosti jedné střely $p_s = 3 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ a hybnost přilby $p_p = 211,5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Nyní použijeme zákon zachování hybnosti. Označme hybnost hrdiny před střelbou p_h a hybnost hrdiny po střelbě je $p'_h = p_h - n \cdot p_s$, kde n je počet vystřelených nábojů. Pro změnu hybnosti hlavního hrdiny můžeme psát

$$\Delta p_h = p'_h - p_h = (p_h - n \cdot p_s) - p_h = -n \cdot p_s. \quad (5.4)$$

Směr vektoru hybnosti uvažujme kladný ve směru od hlavního hrdiny k Měsíci a uvedené řešení je popsáno v soustavě spojené s hlavním hrdinou. Čárky u proměnných označují stav po střelbě, bez čárek se jedná o stav před střelbou.

Úpravou rovnice 5.4 dostáváme vztah pro změnu rychlosti hlavního hrdiny ve tvaru

$$\Delta v_h = -\frac{n \cdot p_s}{m_h}. \quad (5.5)$$

Záporné znaménko udává, že změna rychlosti bude proti směru původního pohybu, takže opravdu dojde ke zpomalení.

Po dosazení dostáváme pro změnu rychlosti hlavního hrdiny při střelbě $\Delta v_{\text{hs}} \doteq -0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a při odhození přilby $\Delta v_{\text{hp}} \doteq -1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

V prezentaci je navíc rozebrán případ předání hybnosti střel Supermanovi (vizte filmovou ukázkou 5.3), v níž Superman čelí střelbě z těžkého kulometu. Vycházíme ze stejných vztahů jako v předchozí části. Rozdíl v hybnostech střel a Supermana je v řádu 10^3 .

Diskuse řešení

Po dosazení dostáváme změnu rychlosti po střelbě $\Delta v_{\text{hs}} \doteq -0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jestliže by hlavní hrdina z knihy místo kulky použil přilbu a hodil ji co nejvyšší rychlostí, pak by efekt byl větší. Změna rychlosti by byla $\Delta v_{\text{hp}} \doteq -1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dokonce i odhození zbraně by mělo větší efekt než pouhá střelba.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze D.

Snímky 2 až 5 obsahují popis, co se bude řešit, a snímky 6 a 7 obsahují uvedení do situace. Na snímku 8 je ilustrace situace. Snímek 9 obsahuje podobnou ukázkou, tentokrát z filmu „Total Recall“ z roku 2013.

Snímky 10 až 15 se zabývají podmínkami řešení. Nejdříve je popsáno, jak by měl střelec střílet, aby střelbou nevznikl moment síly, který hrdinu roztočí. Dále je popsáno zanedbání hmotnosti střel, jinak by řešení záviselo na počáteční rychlosti a tu neznáme.

Na snímcích 16 až 18 je definice hybnosti a impulsu síly. Impuls síly je zde dodán navíc, pro řešení ukázky není potřeba.

Snímek 19 obsahuje hodnoty získané z ukázky či z internetu (nejčastěji z Wikipedie [77], ale i z jiných relevantních zdrojů). Maximální rychlost hodu byla odhadnuta z baseballového rekordu v nadhozu vytvořeného Aroldisem Chapmanem v roce 2010.

Na snímcích 20 až 29 jsou popsány výpočty hybnosti vystřelených nábojů a odhození přilby, která je zmíněna v ukázce. Ve výpočtech je zanedbána rychlost střel. Zde lze motivovat studenty k samostatnému odvození vztahu bez zanedbání hmotnosti střel. Postup je naznačen níže.

Na snímcích 30 až 34 je shrnutí výsledků a krátké poučení. Snímek 35 obsahuje ukázkou ze seriálu „Bojiči mýtů“, kde je popsán holywoodský trik se střelbou a odhozením střeleného vzad.

Na závěr prezentace byla přidána ukázkou z filmu „Superman se vrací“ (vizte 5.3) z roku 2006 (snímky 36 až 42), kde Superman čelí palbě z těžkého kulometu. Z ukázky byly odhadnuty některé údaje a následně byla spočítána hybnost jak střel vystřelených z kulometu, tak hybnost Supermana. Výpočtem je pak dokázána nesmyslnost této scény. Leckoho může překvapit hmotnost vystřelené střely a množství vystřelených střel. Údaje jsou však správné, lze je na internetu bez větších obtíží dohledat.



Film 5.3: Ukázka z filmu „*Superman Returns*“ z roku 2006 [82]

Poučení

Hybnost závisí na součinu hmotnosti a rychlosti. Pro co největší efekt zpomalení musí být právě tento součin co největší.

Kdyby hybnost střely nebyla tak malá, tak by díky 3. Newtonovu zákonu nebylo možné střílet z ručních zbraní, protože zpětný ráz by byl příliš velký a nebylo by jej možné ustát.

5.2.3 Síly v přírodě – odstředivá síla

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Prezentace umožní studentům porozumět možnostem umělé gravitace ve stavu beztíže. Student by měl umět spočítat odstředivé zrychlení.

V prezentaci je užita klasická výuková metoda názorně demonstrační – ukázka, dále pak aktivizující metoda – situační. Prezentace může posloužit také jako cvičení na výpočet odstředivého zrychlení nebo jako problémová úloha, kdy se student může zamyslet nad otázkami položenými na konci prezentace (metoda brainstormingu).

Řešení některých otázek je vhodné použít do hodin rozšiřujících základní výuku fyziky, jako jsou semináře či kroužky fyziky.

Prezentace je delší, obsahuje mnoho ukázek a řešení některých otázek se může protáhnout. Časová náročnost je 45 minut.

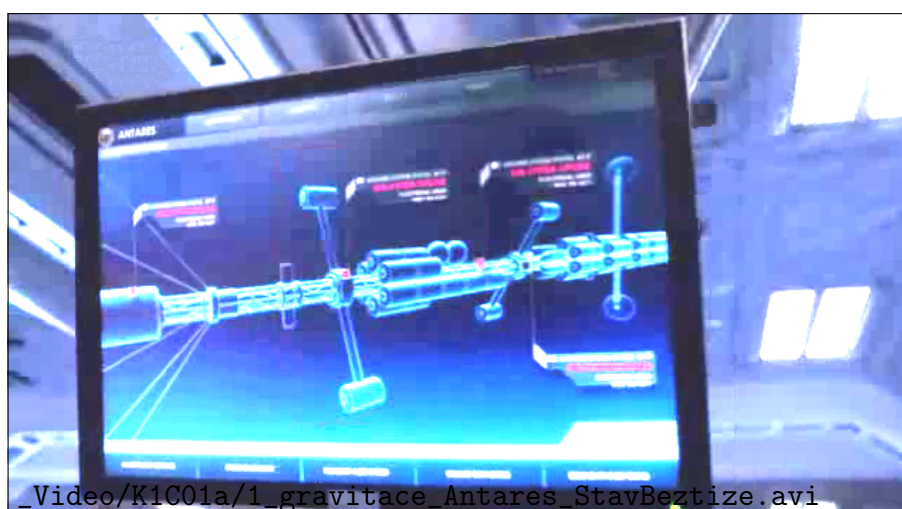
Uvedení do situace

V ukázce je posádka lodi Antares, která má po sluneční soustavě sesbírat neznámé artefakty. Aby se lidem na lodi lépe žilo, používají umělou gravitaci. V ukázce jsou zmíněny dva různé způsoby vytvoření umělé gravitace. První je zmíněna odstředivá síla v kajutách a druhý způsob je nahrazení gravitační síly magnetickou silou. Zmíněný gravioblek je protkán kovovými vlákny a impregnován kovovými nanočásticemi, v podlaze jsou zabudovány magnety, které posádku přitahují.

V ukázce je vidět, jak po výpadku motorů pohánějících ramena s kajutami se vytvoří umělá gravitace, která nahrazuje přirozenou tíhovou sílu.

Na konci ukázky, když je opět pohon ramen s kajutami zprovozněn, si člen posádky zažertuje na účet své kamarádky o její tíze.

Ukázka



Film 5.4: Ukázka ze seriálu „Stav Beztíže“ (S01E04) [84]

V ukázce 5.4 je popisována tvorba umělé gravitace na principu magnetismu a odstředivé síly.

Předpoklady a strategie řešení

Zkusme odhadnout, jak velká by měla být loď Antares z ukázky.

Lze předpokládat, že v kajutách bude odstředivé zrychlení $a_o = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a z posledního snímku ukázky lze odhadnout délku vesmírné lodi na desetinásobek délky otáčejícího se ramene s kajutami.

Je také zajímavé se zamyslet nad tím, jak se posádka musí pohybovat po lodi a jak bude vnímat, co je nahoře a co dole. Zkusme též probrat otázku tíhy (nesprávně označováno jako váha) členky posádky.

A na závěr zkusme kvalitativně popsat následující otázky:

- Jak by mohl vypadat život na vesmírné lodi, kde by byla tíha nahrazena odstředivou silou?
- Jaká by byla odstředivá síla ve středu takové lodi?
- Jak by se pohybovalo těleso padající ze středu k povrchu?
- Jak by se popisoval pád těles z vyšších výšek?
- Po jaké trajektorii by se pohyboval míč hozený z povrchu do výšky? (Uvažujme v soustavě spojené s povrchem.)
- Jak by byl ovlivněn běžec při běhu ve směru nebo proti směru otáčení?
- Jak by se chovala atmosféra na takové lodi?
- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodi?

U posledního bodu je nutné si uvědomit, že vlivem odstředivé síly by v ramenech měl být vyšší tlak atmosféry než v ose otáčení. Jestliže má posádka lodi možnost pohybovat se i v ose lodi (vesmírná loď je malá), pak je nutné, aby celá vesmírná stanice byla pod tlakem. V případě větších vesmírných lodí (například v Rámovi popsaném v knize „**Setkání s Rámou**“ [24] od autora Arthura Charlesa Clarka) by tlak v ose mohl být podstatně nižší než na povrchu.

Získaná data

Z ukázky je vidět, že otáčející se ramena se otočí o čtvrtinu otáčky za 5 s, perioda otáčení pak bude $T = 20 \text{ s}$. (Údaj byl získán zpomalením filmu a spočítáním rozdílu časových značek jednotlivých snímků.)

Výpočty

Nejdříve odhadneme, jak daleko by měly být obytné kabiny od centra lodi. Ze vztahu pro odstředivé zrychlení dostaneme pro délku ramene vztah

$$r = \frac{a_o \cdot T^2}{4\pi^2} . \quad (5.6)$$

Po dosazení vychází délka ramene $r \doteq 100 \text{ m}$.

Diskuse řešení

Jestliže délka lodi je desetkrát větší než délka otočného ramene s kajutami, pak délka celé lodi bude 1 km.

Zajímavá je úvaha nad tím, jak se posádka bude přesouvat do kajut. Z centrální části lodi, která se neotáčí, se totiž nejdříve musí přesunout do otočné části, která se otočí třikrát za minutu. V této části musí být chodby vedoucí do modulů s kajutami. Při pohybu v ramenech směrem ke kajutám bude na posádku působit stále větší obvodová rychlost, a tím pádem i odstředivá síla (budou-li se držet žebříku). Takže pokud by vlezli do těchto chodeb po hlavě, budou se muset velmi brzo otočit nohama směrem ke kajutám. V ramenech samozřejmě musí být nejlépe žebřík. Pro posádku to znamená každé ráno lézt po žebříku do stavu beztíže a večer ze stavu beztíže do uměle vytvořené tíže.

Při slézání po žebříku se navíc vyskytne i efekt Coriolisovy síly, a to takový, že slézá-li člen posádky ramenem ke kajutě, bude tlačěn ke stěně, která leží v protisměru otáčení.

Jistě je zajímavý i fakt, že kdyby ramena byla bez překážek, pak členové, kteří by byli v protilehlých kajutách a vzhledli by vzhůru, viděli by, jak jejich kolegové stojí vůči nim vzhůru nohama. Toto jistě, alespoň ze začátku, musí vyvolávat jisté obtíže s orientací, neboť na Zemi na něco takového nejsme zvyklí.

Zmínka o váze členky posádky (správně tíže) v ukázce je v tomto případě závislá na otáčení kajut kolem centrální části lodi. Budou-li se kajuty otáčet s vyšší frekvencí, pak by se posádka měla cítit těžší, při nižších otáčkách se posádka bude cítit lehčí.

Velmi podobné řešení s vytvořením tíhové síly na vesmírné stanici se můžeme setkat například v knize „**Setkání s Rámou**“ [24] od autora Arthura Charlesa Clarka, nebo v seriálu „**Babylon 5**“ [85], vizte ukázkou 5.5, ve filmu „**2001: Vesmírná odysea**“ [86], vizte ukázkou 5.6 nebo ve filmu „**Mission To Mars**“ [87], vizte ukázkou 5.7.



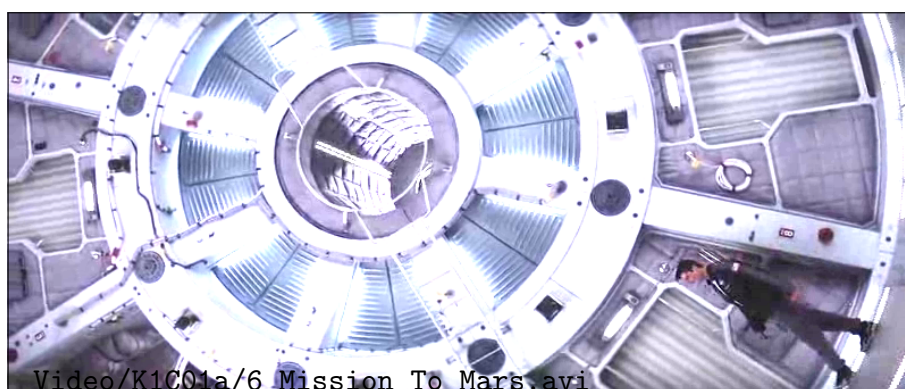
Film 5.5: Ukázka ze seriálu „*Babylon 5*“ (S02E22) [85]

V ukázce 5.5 je drobná chyba. Při otáčení lodi rychlostí $60 \text{ mil} \cdot \text{hod}^{-1}$ a průměru otočné části asi 0,5 míle by na povrchu bylo odstředivé zrychlení pouze $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, to se neshoduje s pohybem jeho obyvatel, kteří se pohybují stejně jako v pozemské tíži. Obvodová rychlost by měla být třikrát větší.



_Video/K1C01a/5_2001_Vesmírna_Odysea_pohyb_v_rotacni_casti.avi

Film 5.6: Ukázka z filmu „2001: Vesmírná odysea“ [86]



Video/K1C01a/6_Mission_To_Mars.avi

Film 5.7: Ukázka z filmu „Mission To Mars“ [87]

Velmi zajímavé je zkusit si odpovědět na položené otázky po zhlédnutí motivačních ukázek 5.5, 5.6 a 5.7.

1) **Jak by mohl vypadat život na vesmírné lodi, kde by byla tíha nahrazena odstředivou silou? Odpověď:** Nad hlavou by bylo možné vidět lidi chodit vzhůru nohama. Mraky a oblačnost by se tvořila v blízkosti rotační osy. Problematické může být vnímání zakřiveného povrchu, vizte ukázkou 5.6.

2) **Jaká by byla odstředivá síla ve středu takové lodi? Odpověď:** V ose otáčení je odstředivá síla nulová, a proto by se tam člověk nacházel ve stavu beztlíže. To však jen v případě, že loď nezrychluje, vizte ukázkou 5.7.

3) **Jak by se pohybovalo těleso padající ze středu k povrchu? Odpověď:** Pokud by těleso mělo počáteční rychlost, pak by v soustavě spojené s rotujícím povrchem ze středu otáčení nepadalo po přímce, ale po spirální trajektorii. Pokud by těleso nemělo počáteční rychlost, pak by bylo v ose otáčení v klidu. Opět předpokládáme, že celá loď nezrychluje ani nezpomaluje a zanedbáváme působení odporových sil rotujícího vzduchu.

4) **Jak by se popisoval pád těles z vyšších výšek? Odpověď:** Velmi obtížně. Vesmírnou loď si představme ve tvaru válce. Osy x a y zvolme tak, že jsou na sebe kolmé a leží v rovině podstavy tohoto válce. Osu z můžeme ztotožnit s osou válce. Pro názornost však budeme pád tělesa popisovat pouze v rovině podstavy (těleso se nebude pohybovat ve směru osy válce), a proto nebude pro popis trajektorie zapotřebí užít souřadnici z , ta v tomto případě bude nulová. Počátek souřadnic zvolme v ose podstavy válce. Rotujícího pozorovatele umístíme na povrch válce v místě o souřadnicích $[0; -R]$, pozorovatele v nerotující soustavě můžeme umístit do počátku souřadnic.

Těleso nechme padat například ze žebříku, který je pevně spojen s povrchem a osou válce, to znamená, že se společně s povrchem otáčí. Pro jednoduchost uvažujme volný pád, při němž tělesu po uvolnění nedodáme žádnou počáteční rychlost. Těleso však přesto bude mít počáteční rychlost shodnou s velikostí a směrem obvodové rychlosti otáčení válce v místě, kde těleso volně upustíme.

A nyní se můžeme pustit do popisu pádu. V soustavě spojené s rotujícím povrchem se těleso bude pohybovat po spirále, dokud nenarazí na povrch. V soustavě spojené s nerotujícím pozorovatelem mimo stanici či loď nebo s pozorovatelem nacházejícím se v klidu v ose otáčení bude trajektorií padajícího tělesa přímka. Vizte obrázky 5.2, 5.3, 5.4 a 5.5. Poloměr rotující části nechť je $R = 100$ m, výšku nad povrchem, ze které padá těleso, označme h_0 a odstředivé zrychlení na povrchu označme $a_o = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Pro popis souřadnic hmotného bodu budeme dále potřebovat obvodovou rychlost otáčení $v_o = \sqrt{R \cdot a_o} \doteq 31,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a úhlovou rychlost otáčení lodi $\omega = \sqrt{\frac{a_o}{R}} \doteq 0,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Perioda otáčení dle uvedených hodnot bude $T \doteq 20$ s.

Trajektorii hmotného bodu budeme popisovat kartézskými souřadnicemi x a y v závislosti na čase t . Čas dopadu hmotného bodu na povrch válce označme t_d .

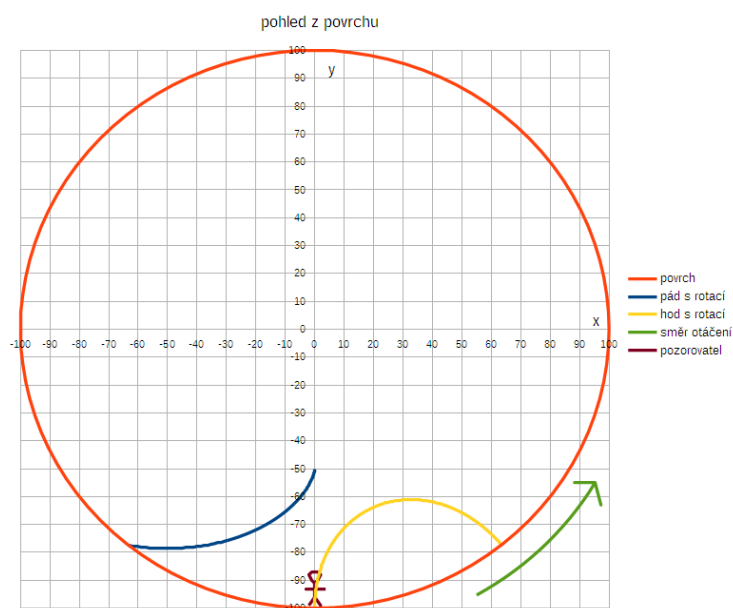
Rovnice popisující pád z pohledu pozorovatele vně lodi budou mít tvar

$$\begin{aligned} x &= (R - h_0) \omega t, \\ y &= -(R - h_0), \\ t_d &= \frac{\sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}}{(R - h_0) \omega}. \end{aligned} \quad (5.7)$$

Rovnice popisující pád z pohledu rotujícího pozorovatele na povrchu lodi budou mít tvar

$$\begin{aligned} x &= +((R - h_0) \omega t \cdot \cos(\omega t) - (R - h_0) \cdot \sin(\omega t)) , \\ y &= -((R - h_0) \omega t \cdot \sin(\omega t) + (R - h_0) \cdot \cos(\omega t)) , \\ t_d &= \frac{\sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}}{(R - h_0) \omega} . \end{aligned} \quad (5.8)$$

Rovnice 5.8 jsou odvozené z 5.7 pomocí otočení souřadnic o úhel ωt , kde t je čas počítaný od okamžiku uvolnění tělesa.

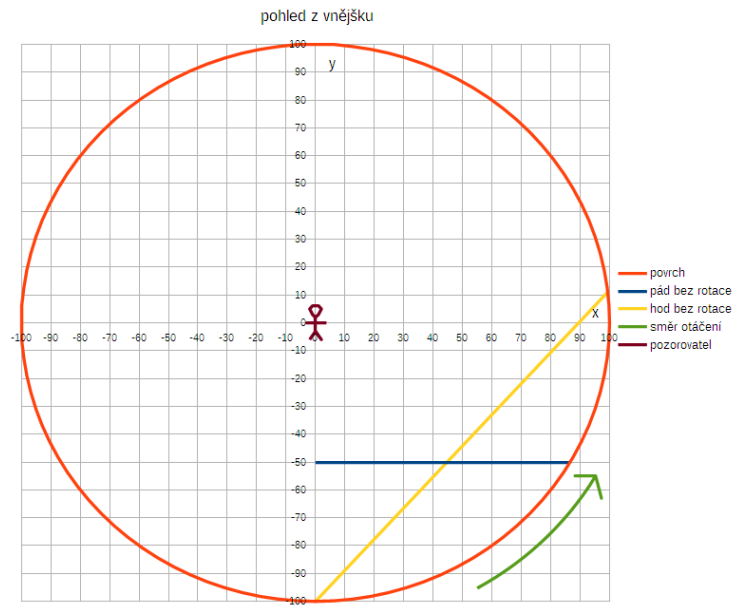


Obrázek 5.2 Trajektorie svislého vrhu vzhůru (žlutá) a volného pádu (modrá) z pohledu rotujícího pozorovatele na povrchu vesmírné lodi. Červeně je označen povrch lodi, zeleně je naznačen směr otáčení, hnědě je zobrazen pozorovatel. Výška modrého hmotného bodu je 50 m. Počáteční rychlost žlutého hmotného bodu je $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a úhel, pod kterým je vystřelen, je 90° (kolmo vzhůru). Jednotky na osách jsou v metrech.

5) Po jaké trajektorii by se pohyboval míč hozený z povrchu do výšky?

Odpověď: Soustavu souřadnic zvolme stejně jako v předchozí otázce. V soustavě spojené s rotujícím pozorovatelem na povrchu by se míč pohyboval po spirále. Ve speciálních případech, kdy je míč hozen (spíše vystřelen) proti směru rotace větší rychlostí než je obvodová rychlost, bude trajektorií složitější křivka. Pozorovatel pak uvidí, jak míč obkrouží osu otáčení vesmírné lodi a poté dopadne na povrch. Při nižších počátečních rychlostech vrhu ve směru rotace pozorovatel asi těžko rozezná spirální trajektorii od paraboly. V soustavě spojené s pozorovatelem mimo stanici či loď nebo s pozorovatelem nacházejícím se v klidu v ose otáčení by trajektorií byla přímka, vizte obrázky 5.2, 5.3, 5.4 a 5.5.

Pro potřeby výpočtů nechť je poloměr rotující části $R = 100 \text{ m}$. Dále označme odstředivé zrychlení na povrchu $a_o = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, rychlost hodu označme v_1 a úhel, pod kterým házíme, označme α . Úhel $\alpha = 0^\circ$ znamená vrh vodorovný ve směru



Obrázek 5.3 Trajektorie svislého vrhu vzhůru (žlutá) a volného pádu (modrá) z pohledu pozorovatele vně vesmírné lodi. Červeně je označen povrch lodi, zeleně je naznačen směr otáčení, hnědě je zobrazen pozorovatel. Výška modrého hmotného bodu je 50 m. Počáteční rychlost žlutého hmotného bodu je $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a úhel, pod kterým je vystřelen, je 90° (kolmo vzhůru). Jednotky na osách jsou v metrech.

obvodové rychlosti, úhel $\alpha = 90^\circ$ je vrh svislý vzhůru (směrem ke středu otáčení) a úhel $\alpha = 180^\circ$ znamená, že se jedná o vrh vodorovný v opačném směru, než je směr obvodové rychlosti. Pro výpočet budeme dále potřebovat obvodovou rychlost otáčení $v_o = \sqrt{R \cdot a_o} \doteq 31,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a úhlovou rychlost otáčení lodi $\omega = \sqrt{\frac{a_o}{R}} \doteq 0,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Perioda otáčení bude $T \doteq 20 \text{ s}$.

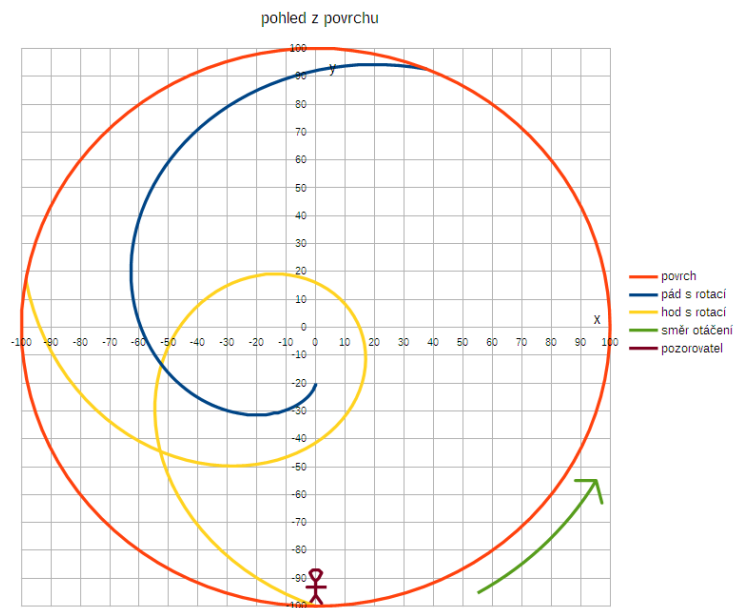
Trajektorii hmotného bodu budeme popisovat kartézskými souřadnicemi x a y v závislosti na čase t . Řešení hledáme pouze v řezu, takže souřadnici z nemusíme uvažovat. Čas dopadu hmotného bodu na povrch válce označme t_d .

Rovnice popisující šikmý vrh z pohledu pozorovatele vně lodi budou mít tvar

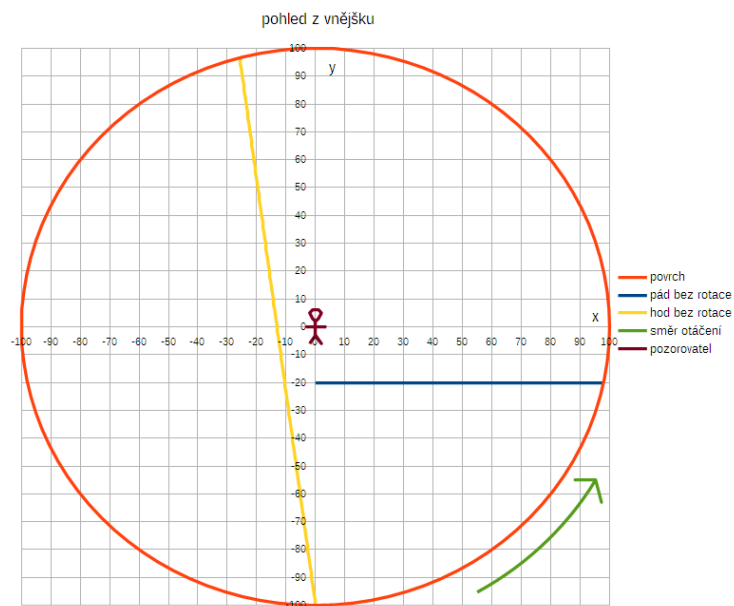
$$\begin{aligned} x &= t (v_o + v_1 \cdot \cos \alpha) , \\ y &= -(R - t \cdot v_1 \cdot \sin \alpha) , \\ t_d &= \frac{2 R \cdot v_1 \cdot \sin \alpha}{v_1^2 + 2 v_1 \cdot v_o \cdot \cos \alpha + v_o^2} . \end{aligned} \quad (5.9)$$

Rovnice popisující šikmý vrh z pohledu rotujícího pozorovatele na povrchu lodi budou mít tvar

$$\begin{aligned} x &= + (t (v_1 \cdot \cos \alpha + v_o) \cdot \cos (\omega t) - (R - t \cdot v_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \sin (\omega t)) , \\ y &= - (t (v_1 \cdot \cos \alpha + v_o) \cdot \sin (\omega t) + (R - t \cdot v_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \cos (\omega t)) , \\ t_d &= \frac{2 R \cdot v_1 \cdot \sin \alpha}{v_1^2 + 2 v_1 \cdot v_o \cdot \cos \alpha + v_o^2} . \end{aligned} \quad (5.10)$$



Obrázek 5.4 Trajektorie šikmého vrhu (žlutá) a volného pádu (modrá) z pohledu rotujícího pozorovatele na povrchu vesmírné lodi. Červeně je označen povrch lodi, zeleně je naznačen směr otáčení, hnědě je zobrazen pozorovatel. Výška modrého hmotného bodu je 80 m. Počáteční rychlost žlutého hmotného bodu je $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a úhel, pod kterým je vystřelen, je 160° (jedná se o úhel 20° v protisměru otáčení lodi, úhel je měřen od tečny k povrchu). Jednotky na osách jsou v metrech.



Obrázek 5.5 Trajektorie šikmého vrhu (žlutá) a volného pádu (modrá) z pohledu pozorovatele vně vesmírné lodi. Červeně je označen povrch lodi, zeleně je naznačen směr otáčení, hnědě je zobrazen pozorovatel. Výška modrého hmotného bodu je 80 m. Počáteční rychlost žlutého hmotného bodu je $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a úhel, pod kterým je vystřelen, je 160° (jedná se o úhel 20° v protisměru otáčení lodi, úhel je měřen od tečny k povrchu). Jednotky na osách jsou v metrech.

6) **Jak by byl ovlivněn běžec při běhu ve směru nebo proti směru otáčení? Odpověď:** Běžec by při pohybu ve směru rotace měl větší obvodovou rychlost, a tím pádem by se cítil díky větší odstředivé síle těžší (díky odstředivému zrychlení by měl běžec při kontaktu s povrchem větší tření a lépe by se mu odráželo). Při pohybu v protisměru rotace by se obvodová rychlost zmenšovala, a tím pádem by se díky snížené odstředivé síle cítil lehčí (kvůli odstředivému zrychlení by však měl běžec, v tomto případě, při kontaktu s povrchem menší tření, což by mohlo znesnadňovat další pohyb). V krajním případě, kdyby běžec byl schopen dosáhnout obvodové rychlosti, by se mohl ocitnout ve stavu beztíže a po odrazu od povrchu by se začal pohybovat rovnoměrně přímočaře uvnitř lodi, dokud by opět nenarazil na rotující povrch.

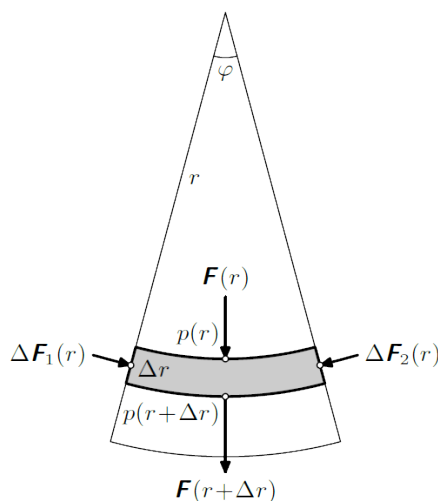
7) **Jak by se chovala atmosféra na takové lodi? Odpověď:** U osy rotace by byl nižší tlak než na vnitřním povrchu. Vlhkost by pravděpodobně vytvářela oblaka par mezi osou rotace a povrchem. Déšť by padal po spirální trajektorii. Atmosféra by díky tření byla strhávána a u povrchu by se pohybovala rychleji než ve vyšších výškách nad povrchem. V ose rotace by se vzduch pohyboval velmi pomalu.

8) **Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodi? Odpověď:** Díky rotaci lodi se bude atmosféra také otáčet a s rostoucí vzdáleností od osy otáčení se bude tlak zvyšovat.

Odvození závislosti tlaku na vzdálenosti od osy otáčení lze najít například ve Fyzikálním korespondenčním semináři „**FYKOS**“ [23], a to v páté sérii jedenadvacátého ročníku. Vztah lze odvodit i využitím stavové rovnice ideálního plynu ve tvaru

$$p = \frac{R_m \cdot T}{M_m} \rho , \quad (5.11)$$

kde p je tlak, $R_m = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ je molární plynová konstanta, $T = 300 \text{ K}$ je termodynamická teplota atmosféry uvnitř lodi (předpokládejme, že je všude stejná), $M_m = 0,029 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ molární hmotnost vzduchu a ρ je hustota vzduchu.



Obrázek 5.6 Změna tlaku vzduchu na tenké válcové výseči

Změnu tlaku vzduchu na tenké válcové vrstvě, vizte obrázek 5.6, můžeme odvodit z Pascalova zákona ve tvaru

$$\Delta p = \frac{\Delta F}{S} \cdot \frac{\Delta r}{\Delta r} = \frac{\Delta m \cdot a_o \cdot \Delta r}{\Delta V} = \rho \cdot a_o \cdot \Delta r , \quad (5.12)$$

kde Δp je změna tlaku, ΔF je změna síly působící na tenkou válcovou slupku tloušťky Δr , S je plocha slupky, Δm je hmotnost slupky, ΔV je objem slupky a a_o je odstředivé zrychlení působící na slupku. Pro odstředivé zrychlení platí vztah

$$a_o = \omega^2 \cdot r , \quad (5.13)$$

kde ω je úhlová rychlost otáčení lodi a r je vzdálenost slupky od osy otáčení.

Výpočtem hustoty ρ ze stavové rovnice 5.11 a dosazením 5.13 do vztahu 5.12 dostaneme rovnici

$$\frac{\Delta p}{\Delta r} = \frac{M_m}{R_m \cdot T} \cdot p \cdot \omega^2 \cdot r . \quad (5.14)$$

Přechodem k infinitezimální velikosti Δr můžeme tuto rovnici řešit separací proměnných a následnou integrací. Po integrování tak dostáváme rovnici tlaku v závislosti na vzdálenosti od osy otáčení ve tvaru

$$p(r) = p(0) \cdot e^{\left(\frac{M_m \cdot \omega^2 \cdot r^2}{2 R_m \cdot T}\right)} , \quad (5.15)$$

kde $p(0)$ je tlak atmosféry v ose otáčení.

Pro otočnou část lodi s poloměrem 100 m a s odstředivým zrychlením $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ na povrchu (úhlová rychlost otáčení bude $0,31 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$) bude vztah pro tlak v závislosti na poloměru $p(r) = 1,006 \cdot p(0)$. Jak je vidět, tlak atmosféry v ose otáčení a na povrchu bude prakticky stejný.

V případě lodi „Ráma“, kterou popsal Arthur Charles Clark, bude závislost podstatně větší $p(r) = 4,9 \cdot p(0)$. V knize je uveden poloměr lodi 20 km a perioda otáčení je 240 s (odstředivé zrychlení na povrchu je $13,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). V tomto případě bude tlak na povrchu zhruba pětikrát větší než tlak v ose otáčení.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze E.

Snímek 2 popisuje, co se bude řešit, na snímku 3 je ukázka ze seriálu „Stav beztlíže“. Snímky 4 a 5 obsahují diskusi ukázky, snímky 6 až 8 popisují údaje získané z ukázky. (Ukázka byla zpomalena a podle časových značek jednotlivých snímků ukázky byla určena doba čtvrtiny otočky).

Na snímcích 9 až 11 jsou provedeny výpočty a snímky 12 až 14 obsahují závěr k řešení první ukázky.

Na snímku 15 je ukázka z filmu „2001: Vesmírná odysea“, kde letuška využívá magnetické boty pro pohyb ve vesmírné lodi. Je také zajímavé poukázat na nesmyslnost scény, kdy se při občerstvení hlavní hrdina přestane věnovat podnosu s jídlem a podnos se začne vznášet v rytmu hudby.

Snímky 16 a 17 obsahují otázky k zamýšlení. Zde je vhodné zkusit odpovědět na tyto otázky před zhlédnutím dalších ukázek. Je však také možné nejdříve se podívat pro lepší představu na další ukázky a následně se pokusit odpovědět na otázky. Zde lze uplatnit problémovou metodu výuky. Na řešení by se měla podílet nejlépe celá třída.

Snímky 18, 19 a 21 obsahují další ukázky, které jsou zde uvedeny pro lepší představu, jak vypadá vesmírná loď s otočnou částí. Na snímku 20 je diskuse k ukázce 19 ze seriálu „Babylon 5“. Snímek 22 obsahuje podobnou ukázku jako snímek 21.

Snímky 23 až 35 a 41 až 45 pak obsahují řešení otázek. Otázka je vždy zvýrazněna červeně. Zde jsou uvedeny jen některé zajímavosti, studenty by mohlo napadnout i něco dalšího, co zde uvedeno není, například pohyb ptáků. Rovnice na snímcích 26 a 27 je uvedena jen pro zajímavost bez odvození. Snímky 28 a 29 obsahují dva speciální případy trajektorií šikmého vrhu (žlutá křivka) a volného pádu (modrá křivka), na menším obrázku je uvedena trajektorie v nerotující soustavě. Snímek 40 popisuje skafandr používaný pro výstup do volného prostoru.

Snímky 41 až 45 obsahují odvození tlaku vzduchu uvnitř rotujícího válce. Pro řešení je potřeba znát stavovou rovnici ideálního plynu a umět integrovat. Tato část je použitelná spíše v rozšiřujících hodinách fyziky (semináře, kroužky) nebo v kombinaci s WolframAlpha [78].

Poučení

Odstředivé zrychlení (případně jakékoliv jiné) může ve stavu beztíže nahradit tíhové zrychlení, jaké je na povrchu Země.

Tíže vytvořená odstředivým zrychlením však nebude mít stejné vlastnosti jako tíhová síla na Zemi tvořená především gravitační silou. Pro cestování v mezihvězdném prostoru by bylo mnohem lepší polovinu cesty rovnoměrně zrychlovat a druhou část cesty rovnoměrně zpomalovat.

5.2.4 Mechanická práce a energie – zákon zachování mechanické energie a zákon zachování hybnosti

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

V prezentaci je popsáno použití zákona zachování mechanické práce a zákona zachování hybnosti.

Student zvládne aplikovat zákon zachování mechanické práce na jednoduchém příkladu matematického kyvadla. Toho je docíleno užitím ukázky (klasická výuková metoda názorně demonstrační) a dále pak nastíněním dané situace (aktivizující metoda).

Příklad se hodí jak k výuce fyziky, tak jako motivační úloha na středních školách. Lze jej využít i k opakování učiva.

Uvedení do situace

Hlavní hrdina Riddick utíká z vězení na planetě *Krematoria*. Tato planeta je pověstná svojí extrémně vysokou teplotou přes den a velmi nízkými teplotami v noci. Během dne je na přivrácené straně ke slunci vše rozžhavené. Dle filmového zpracování zde dokonce hoří i vzduch (což je samozřejmě trochu přehnané).

Riddick se do vězení nechal zavřít, aby našel svoji kamarádku Kyru. Poté, co ji najde, pokouší se ji osvobodit. Útěk se odehrává těsně před rozedněním, kdy teplota na povrchu ještě není tak velká. Jeho přítelkyně Kyra se však cestou zpozdí, slunce mezitím rozpálí okolní skály, a ona zůstane uvězněna ve skalách.

Ukázka



Film 5.8: Ukázka z filmu „Riddick: Kronika temna“ [88]

V ukázce 5.8 se hlavní hrdina Riddick poleje vodou a zhoupne se na provazu. Během letu se mu podaří zachytit Kyru a setrvačností se s ní vyhoupne do bezpečí. Vodou se polévá proto, aby na přímém slunci nebyl popálen.

Další vývoj ukázky

Riddickovi se nakonec útěk zdaří a bez větších nesnází z planety unikne. Bohužel cestou k lodi mu Kyru unesou, a tak jeho záchranná mise pokračuje dále.

Předpoklady a strategie řešení

V ukázce je vidět, jak Riddick přivazuje provaz a skáče z místa, které je stejně vysoko jako uchycení provazu a poté, co zachrání Kyru, je vidět, že se zhoupne prakticky do stejné výšky. Zkusme zjistit, jak vysoko by se ve skutečnosti mohl zhoupnout a zda by ukázka mohla být reálná. Budeme předpokládat, že zachycení Kyry Riddickem je dokonalé a nedojde ke zpomalení například vlivem nárazu na skálu.

Určitě si lze povšimnout i faktu, že se před skokem do sluncem osvětleného prostoru polil vodou. Zkusme odhadnout efekt tohoto počínání.

Dále předpokládejme, že tíhové zrychlení na dané planetě je rovno $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Získaná data

Hmotnost hlavního hrdiny Riddicka (Vina Diesela) je $m_R = 95 \text{ kg}$, hmotnost Kyry (Judi Dench) je $m_K = 65 \text{ kg}$, hodnoty byly převzaty z internetových stránek „How Much Do They Weigh“ [89].

Délku lana odhadněme na $h_1 = 45 \text{ m}$.

Výpočty

Vyjdeme ze zákona zachování energie. Riddickova potenciální energie se bude během letu měnit na kinetickou. Vztah mezi potenciální a kinetickou energií bude dán rovnicí

$$m_R \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m_R \cdot v_R^2, \quad (5.16)$$

kde m_R je Riddickova hmotnost, g je tíhové zrychlení, h_1 značí délku lana a v_R je rychlost, kterou bude mít Riddick v nejnižším místě trajektorie. Pro rychlost dostaneme po dosazení hodnotu $v_R = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

V nejnižším místě zhoupnutí využijeme zákona zachování hybnosti, neboť Kyra je v klidu. Její rychlost bude $v_K = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zákon zachování hybnosti bude mít tvar

$$m_R \cdot v_R + m_K \cdot v_K = (m_R + m_K) \cdot v_{RK}, \quad (5.17)$$

kde v_{RK} je společná rychlost Riddicka a Kyry na laně a m_K je hmotnost Kyry. Po dosazení bude rychlost $v_{RK} \doteq 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Poté, co Riddick Kyru zachytí, se bude kinetická energie obou hrdinů přeměňovat na potenciální. Zákon zachování mechanické energie bude dán vztahem

$$\frac{1}{2} (m_R + m_K) \cdot v_{RK}^2 = (m_R + m_K) \cdot g \cdot h, \quad (5.18)$$

kde h značí výšku, do které se spolu vyhoupnou. Po dosazení vychází výška $h \doteq 16 \text{ m}$.

Hodnota $h = 16 \text{ m}$ udává výšku, do které se oba hlavní hrdinové vyhoupnou z nejnižšího místa trajektorie. Úhel, pod kterým by měl být vidět provaz v závěrečném místě scény od svislého směru, bude dán vztahem

$$\cos \phi = \frac{h_1 - h}{h_1}. \quad (5.19)$$

Po dosazení a zaokrouhlení vychází hodnota úhlu $\phi \doteq 50^\circ$.

Diskuse řešení

Jak je vidět v ukázce na konci, je provaz při vyhoupenutí natažen skoro vodorovně, což neodpovídá skutečnosti. Hlavní hrdinové měli seskočit z lana v místě položeném o zhruba 30 m níže, než ze kterého Riddick skákal.

Efekt vody vylité z čutory je také sporný. Faktem je, že tento postup se doporučuje v hořících budovách, ale vždy je nutné mít na sobě dostatek oblečení, které vodu nasaje, jinak voda z holého těla steče a k vypařování prakticky nedojde.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze F.

Snímky 2 a 3 popisují, co se v prezentaci bude řešit. Na snímku 4 je ukázka z filmu „Riddick: Kronika temna“, vizte ukázku 5.8. Snímky 5 až 7 popisují diskusi skoku a zhoupnutí na laně. Na snímcích 8 až 10 jsou odhadnuté hodnoty délky lana a hmotnosti hlavních aktérů. Hmotnosti hlavních aktérů byly převzaty z internetových stránek „How Much Do They Weigh“ [89].

Na snímcích 11 až 14 je soupis vztahů potřebných k řešení, zde je vhodné nechat studenty vyhledat si vztahy v sešitech či tabulkách, nebo si na ně vzpomenout.

Na snímcích 15 až 28 je řešení zhoupnutí se na laně. Snímky 15 až 17 obsahují popis přeměny potenciální energie na kinetickou v nejnižším místě trajektorie a výpočet Riddickovy rychlosti před zachycením Kyry. Snímky 18 až 23 popisují užití zákona zachování hybnosti před zachycením Kyry a po zachycení Kyry Riddickem. Snímky 24 až 26 popisují přeměnu kinetické energie obou hrdinů na laně na potenciální energii. Na snímcích 27 a 28 je výpočet úhlu (mezi svislým směrem a lanem), který by měl být vidět v poslední scéně filmové ukázky. U snímků 16, 22, 25 a 27 je vhodné nechat studenty cvičně určit vztah pro uvedené neznámé (rychlosti, výšku a úhel).

Snímky 29 a 30 obsahují závěr. Na snímcích 31 až 33 je poučení, snímky 32 a 33 obsahují informace potřebné pro výpočet síly působící na Riddickovu paži. Tyto snímky jsou přidány jen pro zajímavost. Na posledním snímku 34 je ukázka z internetových stránek www.youtube.com, kde jsou sestříhány některé nepovedené skoky z lana.

Poučení

Při kývání kyvadla dochází ke tření a po několika kyvech se kyvadlo může zastavit. Zvětšíme-li hmotnost kyvadla v nejnižším místě trajektorie, nelze počítat pouze se zákonem zachování mechanické energie, ale je nutné do úvahy zahrnout i zákon zachování hybnosti.

Zachytávat další osobu při rychlosti $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 108 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ také není nejchytřejší nápad, Kyra by totiž Riddickovi pravděpodobně utrhla ruku.

Rozbořením jednotlivých snímků z ukázky lze určit dobu nutnou pro zachycení Kyry $\Delta t = 0,3 \text{ s}$. Síla působící na Riddickovu paži vychází $F = 3800 \text{ N}$, což je $2,5 \times$ větší síla, než síla, která dokáže zlomit kosti v paži.

5.2.5 Newtonův gravitační zákon – antigravitace*

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Cílem je ukázat studentům aplikaci integrálního počtu při výpočtu intenzity gravitačního pole.

Student bude znát možnosti výpočtů složitých rovnic v prostředí internetu a bude schopen aplikovat jednoduché rovnice na internetových stránkách umožňujících výpočty. Student získá představu o možných metodách zjednodušení rovnic a bude brát na vědomí limity platnosti výsledných rovnic.

Příklad se hodí pro semináře fyziky ve třídách s rozšířenou výukou informatiky na středních školách. Příklad je koncipován tak, aby jej bylo možné vyřešit i bez hlubších znalostí integrálního počtu. Optimální je využít možnosti výpočetní techniky a provést samostatné výpočty v hodině.

Prezentaci je možné využít i na vysokých školách, svojí obtížností se však i zde lépe řeší numericky. Časová náročnost prezentace je asi 45 minut.

Uvedení do situace

Doktor Kavor vynalezne látku, která dokáže po vychladnutí odstínit gravitační pole. Látku pojmenuje kavoritin a s její pomocí se vydá na Měsíc.

Ukázka



Film 5.9: Ukázka z filmu „First Men in the Moon“ [90], experiment s jablkem

V ukázce 5.9 je popisován efekt kavoritinu, který je schopen odstínit gravitační pole. Efekt je experimentálně ověřen na jablku, které je potřeno kavoritinem.

Mezitím, než kavoritin vychladne, dr. Kavor popisuje Belfordovi, jak došlo k nehodě, při níž na list papíru rozlil kavoritin. Když kavoritin vychladl, vzduch nad papírem ztratil svoji tíhu a začal stoupat vzhůru, na jeho místo se dostával jiný a poté, co i tento vzduch ztratí nad papírem svoji tíhu, začne také stoupat, a tak to jde



Film 5.10: Ukázka z filmu „First Men in the Moon“ [90], atmosférický komín

dál a dál. Dr. Kavor dále popisuje, že nad papírem vznikne atmosférický komín, a tímto způsobem by mohl uniknout vzduch ze Země do vesmíru, tento jev je pak zachycen v ukázce 5.10.

Další vývoj ukázky

Doktor Kavor je na Měsíci zajat Měsíčkany a je přinucen jim kavoritin vyrobit, aby mohli napadnout Zemi. Vyrobený kavoritin však nakonec rozlije a vzniklým atmosférickým komínem vypustí veškerou měsíční atmosféru do vesmíru. Belfordovi se podaří dostat zpět na Zemi, kde svůj příběh později vypráví.

Předpoklady a strategie řešení

Jablko v ukázce 5.9 odstíní gravitační pole a vzduch nad ním ztratí svoji tíhu. Tlak vzduchu působící zespodu na jablko ho tak zvedá. Zkusme spočítat sílu, jakou bude jablko ze stolu tímto způsobem zvedáno. Dále popíšeme, co by se stalo s předmětem, na nějž by přestala působit gravitační síla.

Mnohem složitější bude prověřit, zda je možné rozlitím kavoritinu zbavit planetu atmosféry.

Na závěr se zkusme zamyslet, jak by se dal kavoritin využít pro výrobu čisté energie.

Zemi pokládejme za homogenní kouli. Nad kavoritinem je navíc potřeba neuvažovat setrvačnost hmoty vlivem pohybu Země kolem své osy, kolem Slunce a další podobné efekty. Cokoliv by se totiž vyskytlo nad kavoritinem, by se mělo nadále pohybovat po tečně k těmto pohybům. V tomto případě by však tělesa nad kavoritinem dlouho nesetrvávala, a to by experimenty poněkud ztěžovalo. Předpokládejme proto, že Země se neotáčí ani nepohybuje kolem Slunce (je v takzvaném absolutním klidu).

Získaná data

Jablko z ukázky je zhruba velké jako zatnutá pěst, průměr by tedy mohl být $d_j = 10$ cm. Hustota jablka je asi $\rho_{\text{jablka}} \doteq 690$ kg · m⁻³. Hmotnost jablka pak bude

$m_j = 0,36$ kg. Jablko je opravdu velké. Můžeme také předpokládat, že tlak v místnosti je $p = 101$ kPa.

Dále si představme, že kavoritin nebyl rozlit, ale byl jím potřen list papíru kruhového tvaru. Poloměr kruhu předpokládejme $r_p = 1$ m, jeho plocha bude $3,14$ m².

Poloměr Země je $R_Z = 6378$ km, hmotnost $M_Z = 6 \cdot 10^{24}$ kg, proto průměrná hustota Země bude $\rho = 5521$ kg · m⁻³.

Výpočty

Spočítáme-li plochu, na jakou může být kavoritin natřen, pak při známém poloměru jablka dostaneme plochu kruhu $S_j = 78,5$ cm². Zde si pro jednoduchost můžeme situaci představit tak, že tlak působí na vodorovný průřez přes střed jablka, a to je kruh o průměru d_j . Síla působící na jablko bude dána vztahem

$$F = p \cdot S, \quad (5.20)$$

kde p je tlak vdychu okolo jablka a S plocha, nad kterou se bude vyskytovat vzduch bez tíže. Po dosazení vychází velikost síly zhruba 793 N, síla vskutku veliká.

Zrychlení působící na jablko (dle 2. Newtonova zákona) bude $a = \frac{F}{m_j} \doteq 2200$ m · s⁻². Zrychlení působící na jablko však nebude stále stejné, postupně se s časem začne tlaková síla zmenšovat úměrně rychlosti jablka. Jablko by se po určité době mohlo teoreticky pohybovat maximální rychlostí odpovídající rychlosti zvuku v daném prostředí, neboť to je maximální rychlost, kterou se může vzduch šířit do vakua. Asi by se také brzy začala projevovat aerodynamická odporová síla prostředí.

Poznámka 1

Bylo-li by jablko potřené celé, pak by na jeho vnitřek nemohla odnikud působit žádná gravitační síla. Protože však jablko neztrácí hmotnost (pouze svoji tíhu), budou na něj dále působit setrvačné síly. Je-li obvodová rychlost otáčení Země řádově stovky metrů za sekundu a rychlost Země při oběhu kolem Slunce řádově desítky kilometrů za sekundu, pak by se mělo jablko pohybovat po tečně k těmto rychlostem.

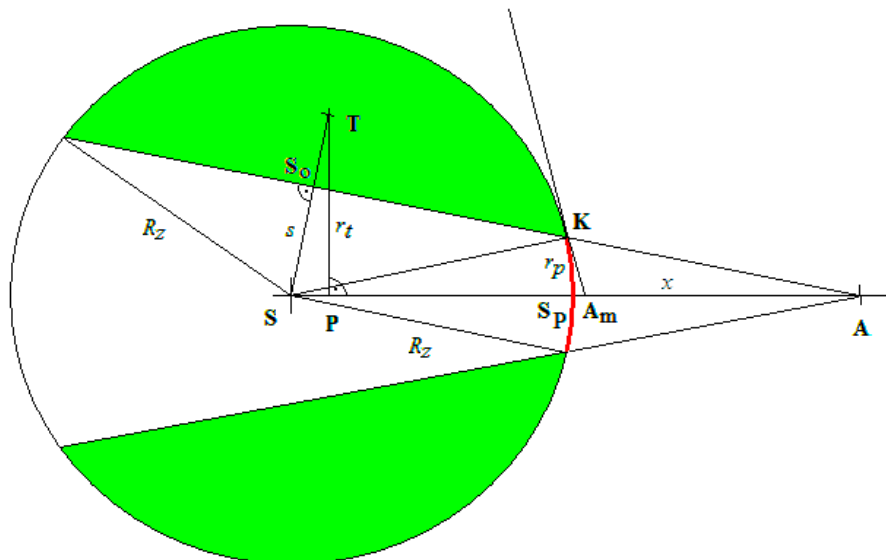
Je-li obvodová rychlost galaxie v řádu stovek kilometrů za sekundu, a protože se galaxie vůči sobě pohybují rychlostmi v řádech tisíců kilometrů za sekundu a započítáme-li navíc setrvačnost rozpínání vesmíru, pak rychlost jablka bude mnohem větší. V této chvíli by se takto upravené jablko mohlo stát velmi nebezpečnou zbraní. Představte si, co to nadělá škody, když někdo vystřelí projektil hmotnosti a velikosti jablka rychlostí tisíce kilometrů za sekundu.

Nyní se zaměříme na problém listu a atmosféry.

Gravitační síla je dána součtem gravitačních sil jednotlivých elementů Země. Přímo na papíru bude celé gravitační působení Země odstíněno. Ve výšce například jednoho metru však plocha papíru nebude zakrývat celou Zemi.

Nad středem papíru (pokud bychom se dívali přímo na střed papíru) by byl okraj a střed papíru viděn pod úhlem menším než úhel, pod kterým bychom viděli celou Zemi. Kavoritinem by byla odstíněna jen část Země. Neodstíněná část by gravitační silou působila dále. To znamená, že čím výše nad středem papíru bychom byli, tím menší efekt by kavoritin měl.

V nekonečné vzdálenosti by list papíru stínil jen válec s podstavou o ploše $3,14 \text{ m}^2$ a výškou $2R_Z$. V tomto případě můžeme prakticky zanedbat vliv kavoritinu, neboť odstíněná hmotnost Země by byla jen $3 \cdot 10^{21} \text{ kg}$, což jsou tři tisícinny hmotnosti celé Země.



Obrázek 5.7 Znárodnění úseče kruhu. Papír politý kavoritinem je v řezu zvýrazněn červeně (velikost neodpovídá měřítku), úseč je zvýrazněna zeleně. Velká písmena označují významné body, malá písmena vzdálenosti, kurzivou psané R_Z označuje poloměr Země. Střed Země je označen S , bod S_p označuje střed papíru, bod A označuje místo pozorovatele, T je těžiště úseče a bod K označuje okraj papíru. Vzdálenost pozorovatele a středu papíru označme x .

V ostatních případech bude list stínil gravitační působení části Země. Tato situace je znázorněna na obrázku 5.7. Nejdříve si zkusme najít maximální výšku označenou h_m , ve které ještě bude celá Země stíněná, pro pravoúhlý trojúhelník $\triangle SKA_m$ bude platit Pythagorova věta. Pro délku strany platí $|KA_m| \doteq r_p$, odtud pro výšku $h_m = |S_pA_m|$ dostaneme

$$h_m \doteq \sqrt{R_Z^2 + r_p^2} - R_Z, \quad (5.21)$$

kde r_p je poloměr papíru a R_Z je poloměr Země. Po dosazení maximální stíněná výška h_m nad papírem bude zcela zanedbatelná. Což znamená, že body S_p a A_m jsou prakticky totožné. Úhel $\angle AS_pK \doteq 90^\circ$.

Při vyšších výškách se začne uplatňovat gravitační působení neodstíněné části Země (na obrázku 5.7 je tato část znázorněna v řezu). Neměl by být problém spočítat hmotnost tohoto prstence, avšak počítat jeho gravitační intenzitu v místě A není na střední škole možné. Pro jednoduchost můžeme předpokládat působení této hmoty jako by se jednalo o hmotný bod ve středu Země.

V dalších výpočtech můžeme s výhodou použít substituci $h = \frac{x}{r_p}$, protože jsme šikovně zvolili $r_p = 1 \text{ m}$, bude hodnota bezrozměrné veličiny h odpovídat výšce nad středem rozlitého kavoritinu.

Vyjdeme z podobnosti trojúhelníků $\triangle \mathbf{AKS}_p$ a $\triangle \mathbf{ASS}_o$. Označme vzdálenost bodů $|\mathbf{SS}_o| = s$, dosadíme za $h = \frac{x}{r_p}$ a uvažujme, že $R_Z \gg h$, pak

$$s = R_Z \frac{1}{\sqrt{1+h^2}} . \quad (5.22)$$

Obsah kruhové úseče vypočítáme z rovnice

$$S = R_Z^2 \cdot \arccos \left(\frac{s}{R_Z} \right) - s \cdot \sqrt{R_Z^2 - s^2} . \quad (5.23)$$

Dosazením 5.22 do 5.23 dostaneme rovnici pro plochu úseče ve tvaru

$$S = R_Z^2 \left(\arccos \left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}} \right) - \frac{h}{(1+h^2)} \right) . \quad (5.24)$$

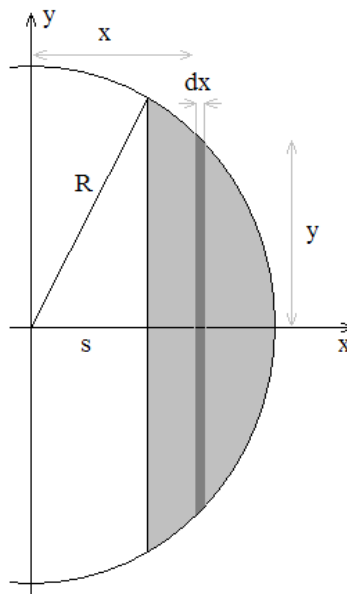
Protože celá úloha je symetrická podle osy \mathbf{SA} , pak pro hmotnost prstence můžeme psát

$$m = 2\pi r_t \cdot S \cdot \rho , \quad (5.25)$$

kde r_t je vzdálenost těžiště úseče od osy \mathbf{SA} . Tento vztah plyne z integrálního výpočtu objemu rotující plochy S kolem osy \mathbf{SA} .

Teď samozřejmě nastává problém s určením těžiště kruhové úseče. Ta se samozřejmě dá dopočítat pomocí integrálů, vizte poznámku 2.

Poznámka 2



Obrázek 5.8 Úseč kruhu

Pro těžiště platí podle obrázku 5.8 vztah

$$x_t = \frac{1}{S} \int_S x \, dS , \quad (5.26)$$

kde S je plocha úseče, vizte rovnici 5.24.

Pro dS , což je plocha infinitezimálního obdélníku, můžeme psát

$$dS = 2y \cdot dx = 2\sqrt{R^2 - x^2} dx . \quad (5.27)$$

Po dosazení mezi pak můžeme psát integrál ve tvaru

$$x_t = \frac{2}{S} \int_s^R x\sqrt{R^2 - x^2} dx . \quad (5.28)$$

Po integraci a dosazení obsahu úseče z rovnice 5.23 pak dostáváme výsledný tvar

$$x_t = \frac{2(R^2 - s^2)^{\frac{3}{2}}}{3\left(R^2 \cdot \arccos\left(\frac{s}{R}\right) - s \cdot \sqrt{R^2 - s^2}\right)} . \quad (5.29)$$

Tento tvar je dosti složitý a k dalším výpočtům dosti nevhodný. Vzhledem k tomu, že nás zajímá jen odhad, pak je vhodné rovnici 5.29 linearizovat. Linearizaci lze elegantně provést například v OpenOffice.org Calcu. Vykreslíme-li funkci 5.29 v závislosti na proměnné s , přičemž R můžeme považovat za parametr, pak lze výsledný graf proložit přímkou (tak zvaná lineární regrese pomocí metody nejmenších čtverců). Takto získaný linearizovaný vztah pro těžiště bude mít tvar

$$x_t \approx 0,58 \cdot s + 0,42 \cdot R_Z . \quad (5.30)$$

Pro další potřeby musíme přepočítat vzdálenost $x_t = |\mathbf{ST}|$ na vzdálenost r_t , což je vzdálenost těžiště \mathbf{T} od osy \mathbf{SA} . Protože $h = \frac{x}{r_p}$ a trojúhelník $\triangle\mathbf{STP}$ je podobný s $\triangle\mathbf{KAS}_p$, bude platit

$$r_t = \frac{x_t \cdot h}{\sqrt{1 + h^2}} . \quad (5.31)$$

Po dosazení rovnic 5.22, 5.24, 5.30 a 5.31 do rovnice 5.25 dostáváme

$$m = 2\pi\rho R_Z^3 \left(\frac{0,58h}{1+h^2} + \frac{0,42h}{\sqrt{1+h^2}} \right) \left(\arccos\left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}}\right) - \frac{h}{1+h^2} \right) . \quad (5.32)$$

Nyní stačí tuto hmotnost dosadit do Newtonova gravitačního zákona. Pro intenzitu gravitačního pole v závislosti na výšce h dostaneme rovnici

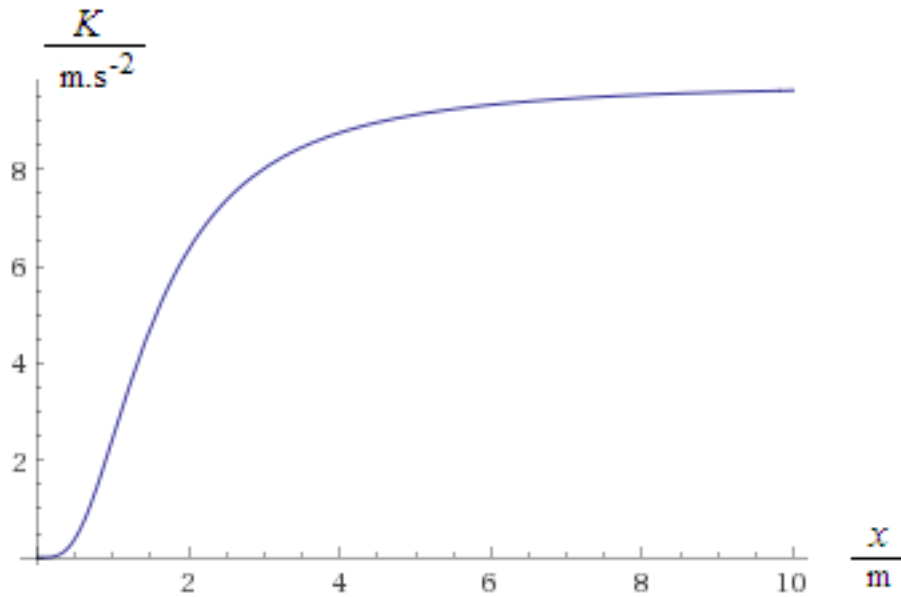
$$K(h) = 2\pi\rho \varkappa R_Z \left(\frac{0,58h}{1+h^2} + \frac{0,42h}{\sqrt{1+h^2}} \right) \left(\arccos\left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}}\right) - \frac{h}{1+h^2} \right) . \quad (5.33)$$

kde $\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační konstanta, $R_Z = 6\,378 \text{ km}$ je poloměr Země a $\rho = 5\,521 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ je průměrná hustota Země.

Graf intenzity gravitačního pole v závislosti na výšce je na obrázku 5.9.

Poznámka 3

Protože se jedná o útvar vzniklý rotací úseče, neměli bychom používat rovnici 5.33, ale rovnici, která by odpovídala gravitační intenzitě tohoto útvaru.



Obrázek 5.9 Závislost intenzity gravitačního pole na výšce nad středem listu kavoritinu řešeno ve Wolfram Alpha [91]

Diskuse řešení

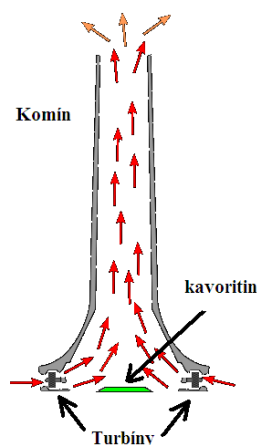
Na jablko potřené na spodní straně kavoritinem bude působit síla zhruba 800 N a to nebereme v úvahu setrvačnost od rotačních pohybů Země.

Pro vykreslení grafu intenzity $K(h)$ je nejjednodušší použít stránky WolframAlpha [78], vizte graf na obrázku 5.9. Přestože při výpočtech byla použita různá zanedbání, tak maximální intenzita gravitačního pole dosahuje hodnoty přibližně $9,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, což je velmi pěkný odhad.

Graf dosahuje svého maxima ve výšce zhruba 42 m. Ve vyšších výškách se bude přibližovat hodnotě tíhového zrychlení. V mnohem vyšších výškách samozřejmě bude opět klesat až na hodnotu $K = 0$ v nekonečné vzdálenosti od Země, to však kvůli podmínce $R_Z \gg x$ z rovnice 5.33 nevyplývá.

Obavy dr. Kavora lze s jistotou vyvrátit, neboť vzduch by ze Země neunikl. Tento jev by však šlo velmi výhodně využít k výrobě elektřiny. Stačilo by nad listem politým kavoritinem umístit turbínu a stoupající vzduch by pak vytvářel vítr, který by roztáčel lopatky turbíny.

Podle grafu 5.9 by bylo vhodné turbínu umístit co nejnižší nad list kavoritinu. Změnou výšky turbíny by dokonce bylo možné regulovat výkon takovéto větrné elektrárny. Lepší variantou je list kavoritinu vložit do úzkého komínu a po stranách umístit turbíny, vizte obrázek 5.10. Vzduch by se ze stran nasával a komínem by stoupal vzhůru. Takto by bylo možné vytvořit perpetuum mobile druhého druhu.



Obrázek 5.10 Zeleně je označen list kavoritinu uvnitř komínu, červeně je znázorněno proudění vzduchu

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze G.

Snímky 2 až 4 popisují prezentaci.

Na snímku 5 je ukázka z filmu, kde je popisováno chování kavoritinu. V ukázce je jablko potřeno kavoritinem a po vychladnutí na něj přestane působit gravitační silou Země a je tlakem vzduchu, který působí na spodní stranu, tlačeno ke stropu. Jiné možné vysvětlení jevu je, že poté, co je odstíněno gravitační pole Země (spodní strana jablka), působí na jablko z vrchní strany gravitační síla okolních objektů, jako jsou hvězdy a planety sluneční soustavy, a touto silou je jablko urychlováno ke stropu laboratoře (takzvaný Machův princip).

Na snímcích 6 a 7 je diskuse k ukázce. Snímky 8 až 10 obsahují odhadnuté hodnoty. Hmotnost jablka je určena z hustoty ($\rho_{\text{jablka}} \doteq 690 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Snímky 11 až 13 obsahují výpočet tlakové síly působící na jablko. Plocha S_j je počítána jako kruhová plocha řezu jablka. Na snímcích 14 a 15 je závěr první části. Je zde popsáno zrychlení, s jakým se bude jablko pohybovat směrem vzhůru, a na snímku 15 je popsán případ, kdy je celé jablko potřeno kavoritinem.

Snímek 16 obsahuje ukázkou atmosférického komínu na Měsíci. Snímky 17 až 19 obsahují odhadnuté údaje o Zemi a poloměru louže kavoritinu. Na snímku 20 je popsáno zanedbání, které bude v dalších snímcích používáno. (Zde je nutno poznamenat, že místa nad středem louže (listu) kavoritinu, která jsou zcela odstíněna od gravitační síly Země, jsou v zanedbatelné výšce nad louží, a proto nemá smysl o nich uvažovat. Ve větších vzdálenostech nad louží kavoritinu budou tělesa odstíněna od gravitační síly Země jen částečně.) Snímek 21 obsahuje aproximaci vzdálenosti těžiště úseče od středu Země. Důvodem pro aproximování je integrální počet popsán na snímcích 27 až 33. Na snímku 22 je popsána substituce, která zjednodušuje další výpočty. Zde stojí za to studentům říci, že podobné substituce se velmi často používají v praxi (například jako kritériální rovnice).

Snímky 23 a 24 obsahují výpočet vzdálenosti úseče kruhu od středu kruhu (vzdálenost bodů $|\mathbf{SS}_0|$) a důvod pro zanedbání výšky pozorovatle nad louží kavoritinu vzhledem k poloměru Země. Tímto zanedbáním však přicházíme o možnost zkoumat

vliv kavoritinu ve větších vzdálenostech od Země. Ve výsledné rovnici je zároveň použita substituce ze snímku 22.

Snímky 25 a 26 obsahují výpočet plochy kruhové úseče. Vztah lze dohledat například na stránce http://cs.wikipedia.org/wiki/Kruhov%C3%A1_%C3%BAse%C4%8D. Vztah je odvozen z rozdílu kruhové výseče a rovnoramenného trojúhelníka s ramenem délky poloměru kružnice. Odkaz na Wikipedii uvádím jen jako nejrychlejší cestu k dohledání informací. Je samozřejmě lepší informaci nalézt někde jinde.

Snímky 27 až 30 popisují odvození vztahu pro těžiště kruhové úseče. K výpočtu je užít integrální počet. Na střední škole je možné snímky vynechat. Snímky 31 až 33 popisují možnosti výpočetní techniky, jak složitou rovnici velmi elegantně linearizovat. K tomuto účelu je použita metoda nejmenších čtverců, takzvaná lineární regrese. Tyto snímky doporučuji okomentovat, neboť se jedná o velmi jednoduchou metodu aproximace aplikovatelnou i na střední škole. Je vhodné nechat studenty nakreslit graf funkce $x_t(h)$ popsané na snímku 30 a následně vytvořit regresní přímku. Snímek 33 ilustruje tento postup v OpenOffice.org Calcu.

Snímky 34 a 35 popisují transformaci vzdálenosti těžiště úseče od středu zeměkoule na vzdálenost těžiště úseče od osy symetrie.

Na snímku 36 je uveden vztah pro objem útvaru, který vznikne rotací kruhové úseče. Jedná se o takzvanou Pappovu-Guldinovu větu o objemu rotačního tělesa. Tato varianta byla zvolena především proto, že je možné ji použít na střední škole. Jinou variantou by bylo použití integrálního počtu. Bohužel varianta pro výpočet těžiště kruhové úseče bez použití integrálního počtu není na internetu jednoduše dohledatelná. Na snímku 37 je pak uveden vztah pro intenzitu gravitačního pole.

Snímky 38 a 39 obsahují výsledný vztah pro intenzitu gravitačního pole ve výšce h nad středem kruhové louže kavoritinu. Na snímku 39 je nabídnuta možnost vykreslení grafu $K(h)$ využitím internetové stránky WolframAlpha [78]. Snímek 40 ilustruje použití. Zde je vhodné, aby si studenti stránku vyzkoušeli. Zadávání rovnic je vcelku intuitivní a stránka hned uvádí zadaný vzorec v grafické podobě.

Na snímku 41 je hledaný graf intenzity gravitačního pole. Na snímku 42 je ukázka výpočtu pro větší vzdálenost od Země. Zde stojí za zmínku, že výsledek je nereálný, intenzita by ve vzdálenosti jednoho milionu kilometrů nad Zemí měla být minimální. Díky zanedbáním však výsledek neodpovídá skutečnosti, na což je nutné si dát pozor. Tato fakta jsou zmiňována na snímcích 43 a 44.

Snímky 45 a 46 obsahují krátké poučení. Na posledním snímku je pak nastíněna možnost výroby energie pomocí kavoritinu.

Poučení

Efekt gravitačního pole těsně nad kavoritinem by byl takový, jaký je popisován v ukázce. Ve vyšších výškách nebude Země dostatečně stíněna a gravitační pole nezastíněné hmoty Země vykoná své.

Gravitační působení nelze odstínit. Není ani znám žádný materiál, který by gravitační pole dokázal alespoň nepatrně zeslabit.

5.2.6 Newtonův gravitační zákon – pohyb rakety v nehomogenním gravitačním poli Země a Měsíce*

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Cílem je studentům ukázat aplikaci zákona zachování hybnosti a numerické metody pro určení počátečních podmínek v rovnicích, které nejsou algebraicky řešitelné.

Příklad by měl posloužit v hodinách fyzikálního semináře k procvičení numerických výpočtů na internetových stránkách WolframAlpha [78].

Student získá zkušenosti s prací s výpočetním systémem a zvládne dosazení rovnic do tohoto systému. Dále si osvojí práci s gravitačním potenciálem. Student by měl být schopen diskutovat problém těles s měnící se hmotností.

Prezentace neobsahuje žádná videa. Časovou náročnost prezentace i s dosazením vztahů do výpočetního systému je asi 45 minut, bez dosazení asi 15 minut.

Uvedení do situace

Děj se odehrává na Měsíci v budoucnosti, ve které je Země pokryta ledem a lidstvo se snaží najít nové zdroje na Titanu.

Hlavní hrdina Longin je nesmrtelný a nepotřebuje jíst, pít, dokonce ani dýchat. Na Měsíc se dostal po havárii dopravní lodi z Titanu. Z Měsíce se snaží dostat pomocí vlastnoručně vyrobené rakety. Raketu hlavní hrdina sestaví z materiálu nalezeném v kolonii, která na Měsíci byla zbudována ještě před tím, než byla Země pokryta ledem.

Ukázka

KULHÁNEK, Jiří. *STRONCIUM* [80]

« LONGIN vypadá fakt impozantně: kolem čtyřmetrového nosníku jsou nad sebou čtyři a čtyři kompozitové lahve, od kterých vedou pancéřové hadice do tří autogenových směšovačů a odtud dolů k tryškám - láhev s heliem je napříč nahore za sedačkou - helium dá palivu potřebný tlak. Řídit se to bude natáčením trysek (jsou přidělané na homokinetickém kloubu z nápravy průzkumného robota) a přivíráním kohoutů.

...

Á protože mi bylo jasné, že bez stabilizace se LONGIN bude točit všude možně, jen ne kam budu chtít, propočítal jsem to a vzal patnáct pevných disků

...

Nahore nad lahvemi je již zmíněné sedadlo, před ním křížem tyčka na opření nohou a nad ní řídicí panel se smetákem a „dálkovými ovládacími elementy“ vedoucími dolů ke kohoutům směšovačů.

...

Potřeboval jsem nabrat únikovou rychlost

...

přetížení nebylo nijak zlé, a když jsem po sto dvaceti sekundách vypnul motor, bylo jasné, že jsem zvítězil.

...

K Zemi to trvalo pět dní »

Další vývoj ukázky

Hrdina se šťastně dostane až na Zem.

Předpoklady a strategie řešení

Zde se nabízí hned několik informací, které stojí za to prověřit.

Odhadnout hmotnost vyrobené rakety LONGIN. Určit závislost rychlosti na vzdálenosti mezi Zemí a Měsícem a zjistit, zda uvedené parametry odpovídají popisu.

Protože hlavní hrdina v knize nepotřebuje k dýchání kyslík, potraviny ani vodu, odpadají zbytečné diskuse ohledně zajištění těchto věcí.

Pro výpočet rychlosti rakety během akcelerace bude potřeba odvodit Ciolkovského rovnici. Tu je však možné studentům předložit i bez odvození. Lze ji bez větších problémů nalézt i na Wikipedii [77].

Z doby letu z Měsíce na Zem určíme metodou pokus omyl potřebnou únikovou rychlost rakety z Měsíce. Takto získanou rychlost dosadíme do Ciolkovského rovnice a z ní vypočteme potřebnou hmotnost paliva na akceleraci.

Pro jednoduchost budeme uvažovat, že Země ani Měsíc se nepohybují a jsou v konstantní vzdálenosti od sebe v klidu. Uvažovat budeme pouze jejich gravitační potenciály.

Získaná data

Předně budeme potřebovat základní údaje o Měsíci a Zemi vizte tabulku 5.2.

Tabulka 5.2 *Vlastnosti Měsíce a Země [76]*

Měsíc	
vzdálenost od Země	$a = 384\,400 \text{ km} = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
hmotnost Měsíce	$M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
rovníkový poloměr	$R_M = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$
tíhové zrychlení na povrchu	$g_M = 1,622 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Země	
hmotnost Země	$M_Z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
rovníkový poloměr	$R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}$
tíhové zrychlení na povrchu	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Pro výpočty budeme dále potřebovat údaje o hmotnostech materiálů, ze kterých je raketa vyrobená, vizte tabulku 5.3. Zde nastává nesčíslně problémů, především s odhadem velikostí lahví, dále pak s odhadem hmotnosti jednotlivých částí.

Hmotnost jednoho metru ocelového nosníku typu I s rozměry $10 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ lze odhadnout na 10 kg. Hmotnost titanového nosníku byla přepočítána z hmotnosti ocelového nosníku pomocí hustoty titanu a oceli. Hmotnost sedadla pro pilota byla odhadnuta ze znalosti hmotnosti klasického sedadla z auta. Hmotnost kompozitové láhve byla odhadnuta ze znalosti několika typů různých lahví. Metodou nejmenších čtverců byl vytvořen vztah pro hmotnost v závislosti na objemu.

Tabulka 5.3 Hmotnosti materiálů použitých na stavbu rakety

4 m titanového nosníku	40,0 kg
sedadlo	15,0 kg
hadice 10 m	10,0 kg
15 pevných disků	7,5 kg
láhev s heliem o objemu 50 l	75,0 kg
prázdná kompozitová láhev o objemu 60 l	32,0 kg
hmotnost pilota	80,0 kg
hustota monometylhydrazinu	880,0 kg · m ⁻³
hustota oxidu dusičitého	1 430,0 kg · m ⁻³

Výpočty

Nejprve si odhadneme hmotnost rakety bez paliva. K tomu budeme potřebovat několik údajů o palivu v raketě. Autor uvádí použití monometylhydrazinu a oxidu dusičitého. Toto palivo se nejlépe spaluje v poměru 2,16 : 1, informace lze najít na stránkách „**Encyclopedia Astronautica**“ [92]. Odhadem dostaneme, že v raketě musí být pět lahví s monometylhydrazinem a tři lahve s oxidem dusičitým, jiné počty už tak dobře nesplňují spalovací poměr. Průměrnou hustotu paliva přicházejícího do trysek lze z uvedeného poměru odhadnout na 1 060 kg · m⁻³. Pro jednoduchost můžeme předpokládat, že jeden litr paliva váží jeden kilogram.

Součtem údajů v tabulce 5.3 a zaokrouhlením dostaneme

$$m_0 = 20,5 + 15 + 10 + 7,5 + 75 + 8 \cdot 32 + 80 \doteq 500 , \quad (5.34)$$

kde m_0 udává hmotnost rakety bez paliva. Hmotnost $m_0 = 500$ kg se často označuje jako mrtvá hmotnost, kterou je nutné vynést do vesmíru.

Celkovou hmotnost rakety vypočítáme

$$m = m_0 + m_p , \quad (5.35)$$

kde m_p je hmotnost paliva.

Z údajů [92] můžeme vyčíst i údaj o specifickém impulsu, který mají raketové motory na toto palivo. Předpokládejme, že motory dávají specifický impuls $I_s = 300$ s. Pro tažnou sílu využijeme vztah

$$F_t = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{t_a} , \quad (5.36)$$

kde F_t je tažná síla, I_s je specifický impuls, $g \doteq 9,81$ m · s⁻² je gravitační zrychlení na Zemi, m_p je hmotnost paliva a t_a je čas, po který probíhá spalování paliva v motorech. Přepočtení specifického impulsu na tažnou sílu je odvozován na Zemi, proto je v tomto vztahu gravitační zrychlení na Zemi.

Specifický impuls vynásobený gravitačním zrychlením na Zemi se označuje jako specifický impuls síly, jeho hodnota také udává efektivní výtokovou rychlost raketového paliva z trysek. Nyní se pokusme najít vztah pro rychlost rakety po vypnutí motorů v závislosti na hmotnosti paliva.

Zjednodušená varianta pro rovnoměrně zrychlený pohyb

Vyjdeme-li z předpokladu, že motory dodávají tažnou sílu na překonání gravitační síly Měsíce a na urychlení rakety, můžeme psát

$$F = F_t - F_g , \quad (5.37)$$

kde F_t je tažná síla motorů, F_g je gravitační síla Měsíce a F je síla, která raketu urychluje.

Z této rovnice po dosazení a úpravě dostáváme vztah

$$v = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{m_0 + m_p} - g_M \cdot t_a , \quad (5.38)$$

kde v je výsledná rychlost rakety po vypnutí motorů, $I_s = 300$ s je specifický impuls, $g = 9,81$ m · s⁻² je gravitační zrychlení na Zemi, $m_0 = 500$ kg je hmotnost rakety bez paliva, m_p je hmotnost paliva rakety, $g_M = 1,6$ m · s⁻² je gravitační zrychlení na povrchu Měsíce a $t_a = 120$ s je doba zapnutých motorů rakety.

Složitější varianta založená na diferenciálním počtu

Vyjdeme-li ze zákona zachování hybnosti před únikem spalin v čase t a po úniku spalin v čase $t + \Delta t$, platí zde vztahy

$$p_t = m \cdot v , \quad (5.39)$$

$$p_{t+\Delta t} = (m - dm) \cdot (v + dv) - dm(w - v), \quad (5.40)$$

kde m je aktuální hmotnost rakety, dm je hmotnost unikajících spalin, v je aktuální rychlost rakety, dv je změna rychlosti rakety vlivem unikajících spalin a w je relativní rychlost spalin vůči raketě.

Z platnosti zákona zachování hybnosti pro raketu můžeme psát pro změnu hybnosti rakety vztah

$$dp_R = p_{t+\Delta t} - p_t = 0 . \quad (5.41)$$

Po dosazení a zanedbání členu $dm \cdot dv$ můžeme změnu hybnosti rakety (diferenciál hybnosti rakety) psát ve tvaru

$$dp_R = m \cdot dv - w \cdot dm = 0 . \quad (5.42)$$

Rovnici 5.42 jsme odvodili ze zákona zachování hybnosti bez uvažování gravitačního pole (ve stavu beztlíže). Vydělením rovnice 5.42 diferenciálem času dt dostaneme rovnici, ve které budou vystupovat síly působící na raketu. Tvar takto upravené rovnice bude

$$\frac{dp_R}{dt} = m \cdot \frac{dv}{dt} - w \cdot \frac{dm}{dt} = F - F_t = 0 , \quad (5.43)$$

kde F je síla urychlující raketu a člen F_t vyjadřuje reaktivní sílu spalin rakety nebo též tažnou sílu rakety.

Rovnice 5.42 se nazývá Ciolkovského rovnice. Po přidání členu zahrnující gravitační sílu můžeme rovnici 5.42 přepsat na tvar

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = w \cdot \frac{dm}{dt} - K \cdot m = 0 , \quad (5.44)$$

kde K je intenzita gravitačního pole v místě rakety počítaná od středu Měsíce.

Rovnice 5.44 popisuje Ciolkovského rovnici v gravitačním poli. Vynásobíme-li rovnici 5.44 časem dt a vydělíme-li ji hmotností m , dostaneme tvar umožňující provést integraci a vypočítat tak výslednou rychlost v . Rovnice bude mít tvar

$$\int_{v_0}^v dv = w \cdot \int_{m_0}^{m_0+m_p} \frac{1}{m} dm - \int_0^{t_a} K dt , \quad (5.45)$$

kde v_0 je počáteční rychlost rakety, ta by měla být rovna $v_0 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, v je výsledná rychlost rakety, m_0 hmotnost rakety bez paliva, m_p je hmotnost paliva a t_a je čas, po který jsou zapnuté motory rakety. Tato rovnice v sobě ukrývá jedno velké úskalí. Protože intenzita gravitačního pole Měsíce v místě, kde se nachází raketa, je závislá na vzdálenosti a tato vzdálenost závisí na rychlosti, s jakou se raketa právě pohybuje, pak máme na levé a na pravé straně rovnice neznámou, kterou nelze nijak jednoduše vyjádřit. Budeme-li však předpokládat, že intenzita gravitačního pole se nebude během 120 s pohybu rakety významně měnit, rovnice se výrazně zjednoduší. Pro odhad hmotnosti paliva je tento předpoklad dostatečný.

Efektivní výtokovou rychlost spalin určíme ze specifického impulsu síly, kde platí

$$w = I_s \cdot g \doteq 3000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} . \quad (5.46)$$

Za uvedených předpokladů můžeme rovnici 5.45 integrovat a dostáváme tak výsledný tvar

$$v = I_s \cdot g \cdot \ln \frac{m_0 + m_p}{m_0} - g_M \cdot t_a , \quad (5.47)$$

kde v je výsledná rychlost rakety po vypnutí motorů, $I_s = 300 \text{ s}$ je specifický impuls, $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační zrychlení na Zemi, $m_0 = 500 \text{ kg}$ je hmotnost rakety bez paliva, m_p je hmotnost paliva rakety, $g_M = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační zrychlení na povrchu Měsíce a $t_a = 120 \text{ s}$ je doba zapnutých motorů rakety.

Výpočty - pokračování

Nyní už zbývá jen dořešit, jak se bude měnit rychlost rakety mezi Měsícem a Zemí v závislosti na vzdálenosti od Měsíce. Jako první si určíme gravitační potenciál.

Gravitační potenciál φ je dán obecně vztahem $K = -\text{grad } \varphi$, kde K označuje intenzitu gravitačního pole. Intenzita gravitačního pole je pak poměr $K = F_g/m$, kde F_g je gravitační síla a m je hmotnost tělesa. V našem případě bude obecně gravitační potenciál od Měsíce a od Země dán vztahem

$$\varphi(r) = -\kappa \frac{M_M}{r} - \kappa \frac{M_Z}{a-r} , \quad (5.48)$$

kde M_M je hmotnost Měsíce, M_Z je hmotnost Země, r je vzdálenost rakety od těžiště Měsíce a a je střední vzdálenost Měsíce a Země.

Pro výpočet rychlosti rakety mezi Měsícem a Zemí vyjdeme ze zákona zachování energie v místě, kde raketa vypne své motory a v místě r . Můžeme psát

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} . \quad (5.49)$$

Po dosažení vztahů pro kinetickou a potenciální energii a pokračení hmotností rakety máme

$$\frac{1}{2}v_1^2 + \varphi(R_M) = \frac{1}{2}v^2 + \varphi(r) , \quad (5.50)$$

kde v_1 je rychlost rakety po vypnutí motorů, R_M je poloměr Měsíce, r je vzdálenost rakety od středu Měsíce a v je rychlost rakety ve vzdálenosti r . V rovnici 5.50 předpokládáme, že během akcelerace se raketa příliš nevzdálí od povrchu Měsíce. Toto zanedbání je vzhledem ke složitosti problému velmi vhodné.

Úpravou rovnice 5.50 dostáváme pro rychlost rakety vztah

$$v = \sqrt{v_1^2 + 2\varphi(R_M) - 2\varphi(r)} . \quad (5.51)$$

Nyní bude potřeba určit dobu letu rakety z Měsíce na Zemi, dle ukázky má tato doba být 5 dní = 432 000 s. K tomuto výpočtu bude nutné užít integrálního počtu. Protože rychlost je derivací dráhy podle času, můžeme přepsat rovnici 5.51 na tvar

$$\frac{dr}{dt} = \sqrt{v_1^2 + 2\varphi(R_M) - 2\varphi(r)} . \quad (5.52)$$

Integrací dostáváme tvar

$$\int_0^{432000} dt = \int_{R_M}^{a-R_Z} \frac{dr}{\sqrt{v_1^2 + 2\varphi(R_M) - 2\varphi(r)}} . \quad (5.53)$$

Z rovnice 5.53 lze jen velmi obtížně vyjádřit rychlost v_1 , kterou by se měla raketa pohybovat po vypnutí motorů, neboť rovnice 5.53 není algebraicky řešitelná. Pravou stranu rovnice 5.53 lze však dosadit do výpočetního systému WolframAlpha [78] a postupně měnit rychlost v_1 tak, aby se tato strana rovnice 5.53 co nejvíce přiblížila levé straně. Samotný výpočetní systém by to také dokázal vyřešit, bohužel však ne v tak krátkém čase, který je k dispozici bez zakoupení profesionální licence.

Po několika pokusech lze rychlost v_1 určit na $2\,285,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, vizte odkaz na WolframAlpha [93]. Takto odhadnutou rychlost lze nyní dosadit za v do rovnic 5.47 a 5.38, a tím dostáváme odhad minimálního množství paliva rakety pro opuštění Měsíce.

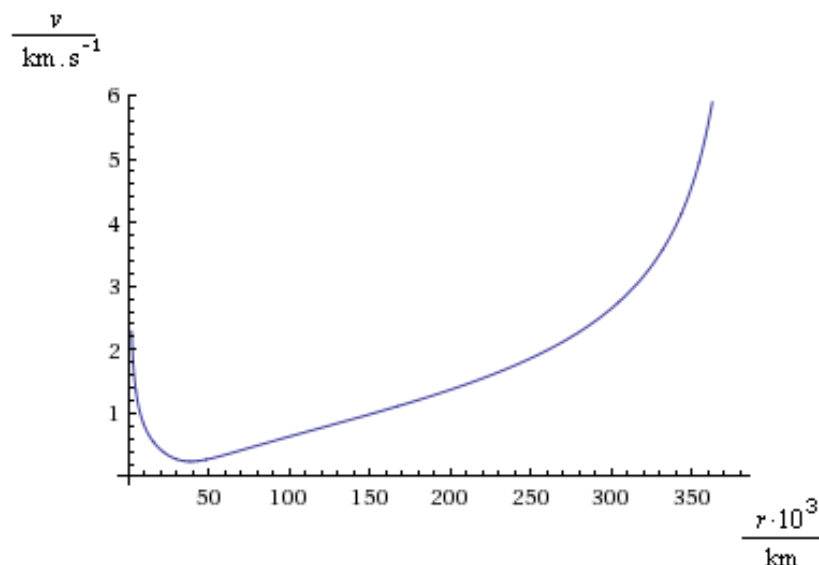
Po dosažení do 5.38 dostaneme $m_p \doteq 2\,660 \text{ kg}$.

Po dosažení do 5.47 dostaneme $m_p \doteq 660 \text{ kg}$.

Diskuse řešení

Závislost rychlosti rakety na vzdálenosti od Měsíce je vidět na grafu 5.11. Pro lepší popis os bylo nutné změnit jednotky v rovnici 5.51, vzdálenost r je počítána v násobcích milionů metrů a rychlost pak vychází v kilometrech za sekundu. Pokud takto upravený vzorec necháme řešit v matematickém softwaru, je nutné hmotnosti Země a Měsíce snížit o dvanáct řádů, nebo gravitační konstantu zvýšit o dvanáct řádů.

Výpočetní systém Wolfram Alpha též umí najít minimum tohoto grafu, vizte odkaz na stránky Wolfram Alpha. Ve vzdálenosti $r \doteq 38,39 \cdot 10^6 \text{ m}$ od těžiště Měsíce se bude raketa pohybovat nejmenší rychlostí, a to $v \doteq 238,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obrázek 5.11 *Závislost rychlosti rakety na vzdálenosti od Měsíce*, [odkaz na stránky Wolfram Alpha]

Budeme-li hledat maximum, pak nejvyšší rychlost bude mít raketa těsně před dopadem na Zemi, rychlost bude $v \doteq 11\,063 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Je celkem zřejmé, že odhadnutá hmotnost paliva bude muset být větší kvůli brzdnému manévru u Země.

Možná někoho překvapí, že rychlost $v_0 = 2\,285,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je menší než úniková rychlost z Měsíce, a to zhruba o $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. To je dáno tím, že v rovnici 5.51 uvažujeme jak gravitační potenciál Měsíce, tak i Země. Bez gravitačního potenciálu Země by rychlost rakety měla být asi $2\,509,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, aby se raketa za pět dní dostala do vzdálenosti, ve které je Země.

Potřebná hmotnost paliva dle Ciolkovského rovnice vychází $m_p \doteq 660 \text{ kg}$. Proto lze předpokládat, že použité láhve by měly mít vnitřní objem minimálně 85 l nikoliv 60 l, jak je uvedeno v tabulce 5.3.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze H.

Snímky 2 až 5 obsahují popis toho, co se bude řešit. Na snímcích 6 a 7 je ukázka z knihy. Snímky 8 a 9 popisují podmínky, za kterých budeme problém řešit, a postup, jakým získáme hmotnost paliva v raketě. Snímky 10 až 15 obsahují základní informace získané z knihy nebo internetu.

Na snímku 16 je definována tažná síla rakety. Snímky 17 až 19 popisují postup, jak získáme rovnici pro výpočet rychlosti v závislosti na hmotnosti paliva v raketě. Postup je však chybný, neboť výsledná rovnice nepopisuje rychlost v závislosti na ubývajícím palivu, ale popisuje rovnici, kdy bychom spotřebovali palivo okamžitě. Tento fakt je zmíněn na snímku 20.

Snímky 21 a 22 předkládají správný vztah pro výpočet rychlosti, takzvanou Ciolkovského rovnici. V textu níže je provedeno odvození této rovnice, do prezentace byl vložen pouze výsledek, neboť odvození se neobejde bez integrálního počtu.

Na snímku 23 je popis specifického impulsu a jeho význam. Zde stojí za zmínku, že specifický impuls má rozměr v sekundách. Důvodem pro takto zavedenou fyzikální veličinu je, že není potřeba hodnotu přepočítávat mezi metrickou soustavou a angloamerickou měrnou soustavou.

Na snímcích 24 až 30 jsou uvedeny hodnoty potřebné pro druhou část výpočtu. Jsou zde sepsány hodnoty charakterizující Zemi a Měsíc.

Na snímcích 31 až 36 je provedeno odvození vztahu pro rychlost, jakou se bude pohybovat raketa v závislosti na poloze mezi povrchem Měsíce a povrchem Země. Vycházím ze zákona zachování mechanické energie. Na snímcích 32 a 33 zavádím gravitační potenciál platný mezi nehybným Měsícem a nehybnou Zemí. Na snímku 34 je pak uveden výsledný vztah pro rychlost. Na snímku 35 je uveden výpočet závislosti času na počáteční rychlosti rakety. Tento vztah lze získat z předchozího vztahu integrací. Postup odvození zde opět není, neboť odvození vyžaduje znalosti integrálního počtu. Snímek 36 popisuje, jak lze z předchozí rovnice získat počáteční rychlost rakety, známeli dobu letu mezi Měsícem a Zemí. Algebraické řešení nepřichází v úvahu, neboť rychlost nelze jednoduše vypočítat z uvedené integrální rovnice.

Snímek 37 je zásadní pro tuto prezentaci, neboť popisuje postup, jakým studenti mohou najít rychlost rakety. Na snímku je uveden vztah, který stačí přepsat na příkazovou řádku na internetové stránce Wolfram Alpha [78] a následně měnit hodnotu počáteční rychlosti tak, abychom dosáhli požadované doby letu. Zde doporučuji, aby studenti provedli odhady sami. Není vhodné začínat s počáteční rychlostí $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, neboť pro malé hodnoty rychlosti integrál diverguje. Doporučuji začít s únikovou rychlostí z Měsíce (tu lze dohledat na internetu) a jejím postupným zmenšováním se dobrat ke správnému výsledku. Na snímku 39 je pak výsledná hodnota uvedena. Je možné dohledat i přesnější hodnoty.

Na snímcích 40 a 41 je pak tato hodnota dosazena do Ciolkovského rovnice a z ní je následně vypočtena hmotnost potřebného paliva.

Snímek 42 obsahuje graf závislosti rychlosti na vzdálenosti mezi povrchem Měsíce a povrchem Země.

V závěru prezentace (snímky 43 a 44) jsou popsány extrémy z předchozího grafu. Na posledním snímku je poučení o principu rakety využívající reaktivní pohon.

Poučení

Při pohybu rakety na reaktivní pohon dochází k úbytku její hmotnosti vlivem spalín, které raketu pohánějí. Čím více paliva bude spotřebováno, tím menší bude její hmotnost a tím rychleji se bude pohybovat.

5.2.7 Mechanika tuhého tělesa – moment hybnosti*

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Příklad se hodí jako ukázka stabilizace družic na oběžné dráze, či jako rozšíření nauky o momentu hybnosti a její aplikace ve stavu beztíže.

Cílem studenta by mělo být pochopení významu momentu hybnosti pro směřování družic na oběžné dráze.

V prezentaci je užita klasická výuková metoda názorně demonstrační – ukázka, instruktáž, dále pak aktivizující metoda – situační. Prezentaci lze též využít jako komplexní výukovou metodu s podporou počítače. Prezentace může posloužit také jako cvičení na výpočet momentu hybnosti různých těles na středních školách či jako ukázka stabilizace družic na základních školách.

Prezentace je delší a s časovou náročností asi 45 minut, neboť se v prezentaci vyskytuje osm multimediálních ukázek a definice momentu síly, momentu setrvačnosti a momentu hybnosti. Prezentace může posloužit i k výkladu nové látky s multimediálními ukázkami.

Uvedení do situace

Děj se odehrává v budoucnosti, kdy se Země nachází v době ledové a lidé se snaží získat suroviny z jiných planet. Hlavní hrdina je nesmrtelný, neboť jeho vědomí bylo omylem vloženo do uměle vytvořeného těla.

V první části se hlavní hrdina Longin nachází na vesmírné stanici s atmosférou, která je na oběžné dráze kolem Titanu a snaží se najít zbraň, kterou by se mohl bránit proti nemrtvým (oživlým mrtvolám), se kterými se chystá bojovat. Nemrtví jsou v příběhu používáni jako levná pracovní síla pro těžbu surovin na Titanu (měsíci Saturnu). Proč také ne, že? Nemusejí jíst, pít a nemohou umřít.

V druhé části se Longin přesunul na Měsíc, kam se dostal při nezdařeném návratu na Zemi. Zde se snaží postavit si vlastní raketu (pojmenovanou *LONGIN*), která by ho dostala zpět na Zemi. Vzhledem k tomu, že hlavní hrdina je nesmrtelný, má to také jednoduché, nepotřebuje dýchat, netrápí ho nedostatek tlaku na povrchu Měsíce, nemusí jíst ani pít.

Ukázka

KULHÁNEK, Jiří. *STRONCIUM* [80]

« „Klid, Longine, teď vpravo, desetimetrový tunel s výhledem na Saturn, těžký oddělovací poklop a jsi v Zeleném – a rovnou v druhé ubikaci.“

...

V posteli byla schována spousta věcí – například wakizaši, krátký japonský meč. Další předmět jsem identifikoval až po nedlouhé úvaze: tím se v předledové době sklízel les (a i když si nejsem jistý, jestli se o lesu říkalo sklízet, jsem si jistý, že téhle věci se říkalo motorová pila) – představil jsem si, jak by na lesníka – kráječe působil v beztíži točivý moment, a shledal pilu naprosto nezpůsobitou. »

KULHÁNEK, Jiří. *STRONCIUM* [80]

« Ale hlavně gyrostabilizátory – na ty jsem obzvláště pyšný: Jednou jsem na pátrací cestě našel zvláštní věc, podle všeho to byl prastarý datový sklad, protože těm věcem uvnitř se podle archeologických učebnic říkávalo „pevný disk“ – asi nějaký měsíční datově–zabezpečovací experiment. A protože mi bylo jasné, že bez stabilizace se LONGIN bude točit všude možně, jen ne kam budu chtít, propočítal jsem to, vzal patnáct disků, umístil je na pravé místo a připojil na CCCP–zdroj – roztočení na dvacet tisíc otáček mi dá dostatečnou stabilitu a jejich snižováním a zvyšováním budu moci LONGINA za letu natáčet, jak budu chtít. »

Další vývoj ukázky

Longin nakonec šťastně přežije útok nemrtvých a po několika týdnech ve vesmíru se nakonec vrátí na Zemi, kde se vypořádá se zlem.

Předpoklady a strategie řešení

Případ uvedený v první ukázce se hodí spíše jako problémová úloha. Případně motivací pro řešení může být počítačová videohra „Dead Space“, což je hororová hra z pohledu třetí osoby od společnosti Visceral Games a distributora Electronic Arts, pro platformy PC, Xbox 360 a Playstation 3. Hra vyšla v České republice 24. října 2008.

Pro potřeby první ukázky budu zanedbávat moment hybnosti samotného motoru motorové pily a budeme se zajímat pouze o moment hybnosti řetězu. S ohledem na řešení na střední škole můžeme uvažovat, že se řetěz pily otáčí po kružnici, lišta je sice oválná, ale redukujeme-li její délku, pak by toto zanedbání nemělo mít tak velký vliv na řešení.

V druhé ukázce budeme uvažovat pevné disky s osmi plotnami. Raketu z ukázky budeme pro jednoduchost uvažovat tvaru válce s homogenním rozložením hmoty.

Získaná data

Hmotnost hlavního hrdiny Longina lze odhadnout na $m_h = 80$ kg.

Hmotnost motorové pily je zhruba 5 kg. Tento a další údaje byly získány rozebráním a zvážení motorové pily značky Alpina. Hmotnost řetězu byla $m_r = 0,17$ kg. Údaj o maximálních otáčkách výrobce udává na $f_r = 12\,000$ ot \cdot min $^{-1}$ = 200 Hz. Řetěz se skládá z 28 řezacích zubů, k tomu je potřeba započítat stejný počet spojek (pro jednoduchost uvažujme stejnou hmotnost všech článků řetězu). Další údaje jsou shrnuty v tabulce 5.4.

Tabulka 5.4 *Řetězová pila Alpina*

hmotnost řetězu	$m_r = 0,17$ kg
maximální počet otáček	$f_r = 200$ Hz
počet článků	56
rozteč mezi články	$a = 0,01$ m
délka vodicí lišty	$l_p = 0,26$ m
šířka vodicí lišty	$t_p = 0,06$ m

Hmotnost jedné diskové plotny je zhruba $m_d = 0,015$ kg (tento údaj byl získán rozebráním pěti disků a zprůměrováním hmotností ploten). Velikost disků v ukázce předpokládejme 3,5", proto poloměr diskové plotny bude $r_d = 0,048$ m. V jednom disku uvažujme osm ploten, přece jenom se jedná o datově zabezpečovací experiment, jak uvádí autor. Raketa (*LONGIN*) je v podstatě nosník, na němž jsou připevněny láhve s palivem a sedadlem pro pilota. Proto lze předpokládat, že se jedná o válec s rovnoměrně rozloženou hmotou. Raketa je popsána v kapitole 5.2.6. Údaje o pevných discích a raketě jsou shrnuty v tabulce 5.5.

Tabulka 5.5 Údaje o pevném disku a raketě LONGIN

hmotnost jedné diskové plotny	$m_d = 0,015$ kg
poloměr diskové plotny	$r_d = 0,048$ m
počet ploten v 15 pevných discích	120
frekvence otáčení	$f_d \doteq 333$ Hz
hmotnost rakety	$m_{\text{raketa}} = 660$ kg
délka rakety	$l = 4$ m
průměr rakety	$d = 1$ m

Výpočty

V první ukázce je popisován problém s točivým momentem. Lépe by bylo říci s momentem hybnosti.

Poznámka 4

Točivý moment nebo také krouticí moment vyjadřuje působení síly na bod vzdálený od osy otáčení (hřídele). Fyzikálně se jedná o moment síly, pod názvem krouticí moment se užívá v technických oborech u rotačních pohonných systémů. Vysvětlení je převzato z Wikipedie [77].

Moment hybnosti můžeme definovat pomocí druhé věty impulsové, která dává do vztahu vektor momentu síly \vec{M} , vektor momentu hybnosti \vec{L} a vektor úhlové rychlosti $\vec{\omega}$ dle vztahu

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(J \cdot \vec{\omega})}{dt}, \quad (5.54)$$

kde J označuje moment setrvačnosti řetězu (reálně se jedná o tenzor a nikoliv o skalár).

Větu můžeme také napsat ve tvaru

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = J \cdot \vec{\omega}, \quad (5.55)$$

kde \vec{r} je vektor udávající směr od hmotného bodu k ose otáčení a \vec{p} je hybnost hmotného bodu. Jak je vidět, ze vztahu 5.55 velikost momentu hybnosti závisí na momentu setrvačnosti tělesa a na jeho úhlové rychlosti. Tento vztah platí pro hmotný bod, protože v našem případě se jedná o řetěz složený z jednotlivých článků, musíme nejdříve vypočítat moment setrvačnosti celého řetězu součtem jeho jednotlivých článků (hmotných bodů).

Při výpočtu momentu setrvačnosti řetězu motorové pily vyjdeme ze vzorce

$$J = \sum_{i=1}^{56} m_i \cdot r_i^2, \quad (5.56)$$

kde $m_i = 3 \text{ g}$ a r_i je vzdálenost článku řetězu od osy otáčení. Osu otáčení zvolme v geometrickém středu lišty pily. Lištu můžeme považovat za ovál. Na koncích (na kratších stranách oválu) nechtě jsou 4 články řetězu na levé a 4 články na pravé straně. Na dlouhé straně nechtě je 24 článků nahoře a 24 článků dole. Koncové články řetězu nechtě jsou všechny přibližně ve vzdálenosti 0,13 m. Lišta je vůči zvolené ose otáčení symetrická, proto stačí vypočítat jen vzdálenosti pro čtvrtinu zubů. Výpočtem tak dospějeme ke vztahu pro vzdálenost 14 zubů na delší straně lišty od osy otáčení

$$r_i^2 = \sum_{i=1}^{14} \left(\frac{t_p}{2} \right)^2 + (i \cdot a)^2, \quad (5.57)$$

kde i je index, t_p je šířka lišty pily a a je rozteč mezi jednotlivými dílky řetězu.

Po dosazení vzorce 5.57 do 5.56, připočtení 8 krajních článků řetězu a vynásobení čtyřmi dostaneme celkový moment setrvačnosti řetězu $J_r = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Velmi obdobný výsledek dostaneme, budeme-li uvažovat, že řetěz obíhá po kružnici o poloměru 8,7 cm, což je třetina délky lišty.

Úhlová rychlost řetězu pily při maximálních otáčkách je $\omega \doteq 125,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro odhad by stačilo zaokrouhlit řádově na stovky, výsledek je přesto uveden přesněji, protože při výpočtech v prezentaci je vhodné nechat studenty počítat s přesností na jednu desetinu. Velikost celkového momentu hybnosti řetězu vypočteme dosazením hodnot do rovnice 5.55. Velikost momentu hybnosti řetězu bude $L_r = 1,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Pro aplikaci zákona zachování momentu hybnosti bude třeba určit moment setrvačnosti lidského těla. Na webových stránkách biomech.ftvs.cuni.cz je formulář pro výpočet tohoto momentu. Moment setrvačnosti by měl být volen pro frontální rovinu. Po vyplnění formuláře a sečtení vypočtených hodnot získáme moment setrvačnosti $J_{\text{člověka}} = 7,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Byl-li hlavní hrdina před roztočením motorové pily v klidu s momentem hybnosti $0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a držel-li motorovou pilu v poloze, kdy řetěz obíhá lištu ve vertikální rovině, pak dosazením momentu setrvačnosti člověka a momentu hybnosti řetězu do vztahu 5.55 můžeme vypočítat úhlovou rychlost a následně i periodu, s jakou se bude hlavní hrdina otáčet. Otáčet se bude v opačném směru než obíhá řetěz motorové pily, neboť výsledný součet momentu hybnosti motorové pily a lidského těla musí být stále $0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Po dosazení bude perioda otáčení hlavního hrdiny $T \doteq 28,5 \text{ s}$.

Poznámka 5

Další problém nastane, když se hrdina bude snažit s motorovou pilou pohybovat ve směru kolmém k momentu hybnosti rotujícího řetězu. Lépe řečeno, bude působit silou kolmou k tomuto směru. Protože se řetěz motorové pily bude chovat jako setrvačnick, pak na takto vzniklou sílu bude motorová pila reagovat stáčením do stran. Jak si lze domyslet, motorová pila ve stavu beztlíže bude dost těžko ovladatelná.

V druhé ukázce je popisován gyrostabilizátor. Ten se používá k natáčení družic ve volném prostoru. Z této ukázky můžeme zkusit odhadnout velikost momentu hybnosti a srovnat ho s jinými gyrostabilizátory.

Disková plotna je prakticky homogenní disk s malým otvorem uvnitř, který lze zanedbat, po dosazení bude hodnota momentu setrvačnosti

$$J_d = 120 \cdot \frac{1}{2} m_d \cdot r_d^2 = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, \quad (5.58)$$

kde m_d je hmotnost diskové plotny a r_d je její poloměr.

Vztah mezi otáčkami a úhlovou rychlostí je

$$\omega = 2\pi \cdot f_d, \quad (5.59)$$

kde f_d je frekvence otáčení. Z textu vyplývá, že frekvence je zhruba $f = 333 \text{ Hz}$.

Pro velikost momentu hybnosti po dosazení dostáváme z rovnice

$$L_d = J_d \cdot \omega \quad (5.60)$$

hodnotu $L_d = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Dále můžeme zkusit zjistit, jak by se roztočila raketa (homogenní válec) při zastavení všech ploten díky zákonu zachování momentu hybnosti. Můžeme tak předpokládat, že o stejnou hodnotu úhlové rychlosti by bylo možné roztočenou raketu zpomalit.

Nejdříve spočteme moment setrvačnosti $J_{r\parallel}$ válce roztočeného kolem osy rovnoběžné s hlavní osou válce

$$J_{r\parallel} = \frac{1}{2} m_r \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 62,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, \quad (5.61)$$

kde m_r je hmotnost rakety a d je její průměr.

Dosazením 5.61 do 5.55 dostaneme změnu úhlové rychlosti rakety ve tvaru

$$\Delta\omega = \frac{\Delta L_d}{J_{r\parallel}} = 0,0672 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (5.62)$$

Odtud dopočítáme minimální periodu pro otáčení v této ose $T_{\min\parallel} \doteq 93 \text{ s}$.

Obdobně vyřešíme otáčení rakety v ose kolmé na její délku, tentokrát můžeme raketu považovat za tyč. Moment setrvačnosti bude

$$J_{r\perp} = \frac{1}{12} m_r \cdot l^2 \doteq 667 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (5.63)$$

a po dosazení do 5.55 a úpravě vyjde perioda $T_{\min\perp} \doteq 1000 \text{ s}$.

Diskuse řešení

Pracovat s motorovou pilou ve stavu beztlíže není jednoduché. Díky zákonu zachování momentu hybnosti bude docházet ke stáčení pracující osoby. Ve výpočtech jsme neřešili moment hybnosti motoru, ten by mohl být srovnatelný s momentem hybnosti samotného řetězu, tím by se rychlost otáčení člověka držícího pilu zkrátila na polovinu.

Hodnota momentu setrvačnosti $J_d = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ diskových ploten je srovnatelná s gyrostabilizátory sondy „gravity probe B“, která má čtyři gyrostabilizátory, rotorem jsou zde kuličky o průměru 3,8 cm a frekvence otáčení je $10\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze I.

Na snímku číslo 5 je první část ukázky. Ukázku je vhodné studentům přečíst.

Snímky 7 a 8 jsou pouze motivační.

Snímky 9 až 13 se zabývají teorií týkající se momentu síly, na snímcích 14 až 18 je definován moment setrvačnosti a na snímcích 19 až 21 jsou posány vztahy pro moment hybnosti. Snímek 22 obsahuje české video s vysvětlením a ukázkou momentu hybnosti. Snímek 23 ilustruje zákon zachování momentu hybnosti ve stavu beztíže.

Snímky 24 až 44 se zabývají momentem hybnosti motorové pily. Na snímku 30 je vypočítán moment setrvačnosti řetězu metodou konečných prvků, snímky 31 a 32 ukazují alternativní řešení pomocí redukované délky lišty. Koeficient $1/3$ byl zvolen tak, aby obvod řetězu byl jak pro elipsu, tak pro kružnici stejně velký. Rozdíl výsledků je řádu 10^{-5} , což je zanedbatelná hodnota. Snímek 35 obsahuje odkaz na internetové stránky Fakulty tělesné výchovy a sportu University Karlovy, kde je vytvořen formulář pro výpočet momentu setrvačnosti lidského těla. Hodnota momentu setrvačnosti v prezentaci je součtem momentů setrvačnosti jednotlivých segmentů z uvedeného formuláře. (Není zde zohledněna poloha rukou a hmotnost motorové pily, pro odhad je však tato hodnota dostačující.) Na snímku 38 je ukázka otáčení řetězu motorové pily se zpomalenými záběry kamery. Na snímcích 42 až 44 jsou shrnuta zanedbání při výpočtech. Snímek 45 ilustruje žonglování s řetězovými pilami, kde nedochází alespoň v krátkém čase ke stáčení řetězové pily.

Snímek 46 a 47 je úvodem k druhému tématu, a to gyroskopu. Na snímku 48 je druhá ukázka z knihy a následuje rozbor a soupis potřebných údajů. Na snímcích 51 až 54 je výpočet momentu setrvačnosti diskových ploten a výpočet momentu hybnosti. Snímky 55 až 58 obsahují vysvětlující text, kde jsou popsány vlastnosti roztočených diskových ploten a možné pohyby rakety. Možností jak natáčet celou raketu je roztočení diskových ploten na větší otáčky nebo jejich zpomalení. Teoreticky by bylo možné plotny roztočit opačným směrem, ale není jisté, zda to konstrukce pevného disku umožňuje. Roztočené plotny se samozřejmě budou snažit držet osu rotace ve stále stejném směru, budou-li však trysky postavené rakety špatně natočeny, bude docházet k působení momentu síly na roztočené plotny a raketa se následně bude snažit stáčet i v dalších směrech (stejně jako je tomu u roztočeného setrvačnicku v Kardanově závěsu).

V prezentaci je řešen jednodušší případ, jak by se raketa roztočila, kdyby se disky zastavily. Na snímcích 59 až 64 je popsán výpočet momentu setrvačnosti vůči ose rovnoběžné s délkou (procházející těžištěm) a vůči kolmé ose na osu symetrie rakety (válece), opět procházející těžištěm rakety. Dále je zde vypočítána perioda, s jakou by se raketa začala otáčet při zastavení disků. Předpokladem je, že kdyby došlo k roztočení rakety, tak vypočítaná hodnota periody by byla minimální, při které by ještě bylo možné zastavením ploten zabránit rotaci rakety. Při menších periodách již zastavením disků nebude možné zastavit rotaci rakety. (Bylo by nutné zastavené disky fyzicky přemístit, či otočit a následně je roztočit na vyšší otáčky.)

Na snímcích 66 a 67 je pak praktická ukázka setrvačnicků. Poslední snímek, 68 je jen pro pobavení, kdy Chuck Norris zastavuje rukou motorovou pilu.

Poučení

S momentem hybnosti je nutno počítat u všech těles, u nichž se nějaká část otáčí.

Roztočením jakéhokoliv tělesa na Zemi lze dosáhnout neměřitelného zpomalení či zrychlení zemské rotace, neboť zákon zachování momentu hybnosti musí platit jak pro jednotlivá tělesa, tak i pro celou zeměkouli se všemi tělesy na jejím povrchu.

5.2.8 Mechanika tuhého tělesa – moment setrvačnosti

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Cílem prezentace je opakování vztahů platných pro tuhá tělesa. Prezentaci je vhodné uvést v hodinách fyziky až na závěr tematického celku „mechanika tuhých těles“.

Student po zhlédnutí bude schopen spočítat hybnost tělesa a změnu rychlosti. Procvičí si výpočty momentu setrvačnosti a Steinerovu větu. Student si připomene druhou impulsovou větu. Tyto zdatnosti jsou motivovány audiovizuální ukázkou jako metodou názorně demonstrační a dále pak popisem (metoda slovní).

Pro první část výpočtů, sloužících pro odhad rychlosti tryskajícího hasiva, je užita Steinerova věta a moment setrvačnosti. Tato část se hodí pro připomenutí učiva o mechanice tuhého tělesa na středních školách, případně jako ukázka možnosti aplikace tohoto zákona v předstihu před probíranou látkou.

Druhá část se zabývá užitím hybnosti. Tuto část je vhodnější použít jako opakování a celý příklad vložit do hodin výuky momentu setrvačnosti v tématu „mechanika tuhého tělesa“ na středních školách.

Uvedení do situace

Wall-E je robot zpracovávající odpad na Zemi. Jednoho dne nalezne rostlinu, která je předzvěstí znovuosídlení Země. Krátce po nálezu rostliny přistane nedaleko města průzkumná sonda Eva, která má za úkol nalézt na Zemi život. Wall-E je po dlouhé době konfrontován s jinou rozumnou bytostí a zamiluje se do ní.

V ukázce je Wall-E uvězněn v únikovém modulu, ze kterého se snaží utéci, to se mu nakonec podaří těsně před jeho zničením. K úniku a pohybu ve volném vesmíru využívá hasicího přístroje.

Ukázka



Film 5.11: Ukázka z filmu „Wall-E“ [94]

V ukázce 5.11 se robot Wall-E pohybuje ve stavu beztíže upouštěním směsi z hasicího přístroje.

Předpoklady a strategie řešení

Ukázka 5.11 je zajímavá především tím, že hlavní hrdina využívá k pohybu hybnosti unikající směsi z hasicího přístroje, a to velmi přesnými a fyzikálně správnými manévry. Určitě stojí za povšimnutí, že veškerý pohyb vychází přes těžiště hlavního hrdiny a rotaci následně koriguje přesným upuštěním směsi.

Z ukázky můžeme odhadnout, jakou rychlostí se Wall-E bude pohybovat při průletu kolem Evy po výbuchu.

Předtím budeme muset odhadnout, jakou rychlostí uniká pěna z hasicího přístroje. Odhad provedeme na základě scény, kde se Wall-E otáčí čelem k Evě.

Wall-Eho můžeme považovat za kovovou krychli o straně $a = 0,6$ m. Jeho tělo nechť je tvořeno šesti železnými deskami o tloušťce $a_t = 2$ cm. Hmotnost rukou, hlavy a pásů zanedbejme, předpokládejme, že jejich hmotnost může být zahrnuta do tloušťky čtvercových desek.

Získaná data

Hmotnost Wall-Eho odhadneme ze součtu hmotností jednotlivých desek. Jedna deska při hustotě $7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ by měla hmotnost $m_d = 56$ kg. Celková hmotnost Wall-Eho by byla $m_w = 336$ kg.

Z ukázky se dá dále odhadnout doba půlobratu Wall-Eho k Evě na 3 s, perioda by proto byla $T = 6$ s. Dobu, po kterou byla pěna z hasicího přístroje uvolněna a využita k zastavení rotace, můžeme z filmu přehráním jednotlivých snímků a určením jejich časových značek odhadnout na $t_z = 0,32$ s. Vzdálenost trysky hasicího přístroje od osy otáčení odhadněme na $r = 1$ m.

Doba, po kterou Wall-E zrychloval k Evě, odhadněme na $t_a = 9,5$ s.

Z údajů pro dobu použití hasicích přístrojů můžeme odhadnout, že za jednu sekundu se z hasicího přístroje uvolní 0,25 kg hasiva, hmotnostní průtok hasiva hasicím přístrojem je $Q_m = 0,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Za dobu t_z může z přístroje uniknout zhruba $m_h = 0,1$ kg hasiva.

Výpočty

Nejdříve určíme moment setrvačnosti desky o rozměrech $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ vzhledem k ose procházející těžištěm a kolmé k ploše o rozměrech $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ (to je horní a dolní část krychle). Vyjdeme z momentu setrvačnosti kvádrů. Moment desky bude

$$J_v = \frac{m_d}{12} (a^2 + a^2) = 3,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 . \quad (5.64)$$

V případě momentu k ose procházející těžištěm kolmo na delší plochy desky dostáváme

$$J_c = \frac{m_d}{12} (a^2 + a_t^2) = 1,68 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 . \quad (5.65)$$

Využitím Steinerovy věty vypočítáme moment k ose, která je rovnoběžná s osou pro moment J_c , ale leží v těžišti krychle, které je posunuté o 30 cm nad desku (to jsou strany krychle po obvodu Wall-Eho těla). Výpočet bude

$$J_m = \frac{m_d}{12} (a^2 + a_t^2) + m_d \cdot \frac{a^2}{4} = 2,94 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 . \quad (5.66)$$

Výsledný moment celého těla Wall-Eho (celé duté krychle) pak bude

$$J = 2 J_v + 4 J_m = 6,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 . \quad (5.67)$$

Podle druhé věty impulsové můžeme psát

$$J \cdot \epsilon = r \cdot F , \quad (5.68)$$

kde $\epsilon = \omega/t_z$ je zpomalení rotačního pohybu, $r = 1 \text{ m}$ je vzdálenost tryskajícího hasiva od Wall-Eho těžiště a F je síla, kterou vytváří unikající hasivo. Úhlovou rychlost Wall-Eho vypočítáme ze vztahu $\omega = 2\pi/T$, kde $T = 6 \text{ s}$ je perioda otáčení Wall-Eho. Odtud pro sílu, kterou musí tryskat pěna z hasicího přístroje, dostáváme hodnotu

$$F = \frac{2 J \cdot \pi}{T \cdot t_z \cdot r} = 20,6 \text{ N} . \quad (5.69)$$

Z odhadu hmotnosti hasiva můžeme dosazením síly F do druhého Newtonova zákona dopočítat rychlost, kterou by hasivo mělo tryskat z hasicího přístroje. Rychlost pak bude

$$v_h = \frac{F \cdot t_z}{m_h} \doteq 66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} . \quad (5.70)$$

Nyní můžeme dopočítat rychlost, kterou by se měl Wall-E pohybovat kolem Evy. Ze zákona zachování hybnosti dostáváme vztah

$$m_h \cdot v_h = m_w \cdot v_w , \quad (5.71)$$

kde $m_h = Q_m \cdot t_a$ je celková hmotnost hasiva ($Q_m = 0,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ je hmotnostní průtok hasiva hasicím přístrojem), která se uvolní za dobu t_a , po kterou Wall-E akceleruje směrem k Evě, v_h je rychlost unikajícího hasiva, m_w je celková hmotnost Wall-Eho a v_w je rychlost, kterou Wall-E nabere.

Po dosazení pro rychlost v_w dostáváme

$$v_w = \frac{m_h \cdot v_h}{m_w} = 0,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} . \quad (5.72)$$

Diskuse řešení

Rychlost, kterou Wall-E nabere směrem k Evě, je nepatrná, a to ani neuvažujeme setrvačnost, kterou by nabral v únikovém modulu před výbuchem. Mlčky jsme totiž předpokládali, že jeho rychlost před použitím hasicího přístroje je nulová.

Jak vidno, i kdyby Wall-E použil všechnu směs v hasicím přístroji a té by mohlo být maximálně deset kilo, tak by se zřejmě jen nepatrně přibrzdil vůči rychlosti, kterou nabral před výbuchem únikového modulu. Pravdou je, že v tomto případě by se nekonal žádný „happy end“ a film by vyzněl velmi smutně: „Kdesi hluboko v galaxii pluje opuštěný Wall-E a vzpomíná ...“

Za zmínku jstě stojí, že hasicí přístroj je možné využít například k výrobě „pneumatického děla“. Popis takového vlastnoručně vyrobeného pneumatického děla je možné najít například ve *Veletřh nápady učitelů fyziky 16* [95].

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze J.

Snímky 2 a 3 popisují, čím se budeme v prezentaci zabývat. Na snímku 4 je ukázka z filmu, následovaná diskusí na snímcích 5 až 8. Snímky 9 a 10 popisují teorii, použitou při výpočtech.

Na snímcích 11 až 16 jsou popsány základní údaje, ze kterých vycházíme při výpočtech. Dobu úniku hasiva a periodu obratu Wall-Eho lze určit z rozdílu časových značek u jednotlivých snímků filmu.

Na snímcích 17 až 21 je proveden výpočet momentu setrvačnosti duté krychle (robota Wall-Eho). Na snímcích 22 a 23 je proveden výpočet reakční síly hasiva. Na snímku 24 je pak pomocí druhého Newtonova zákona vypočítána rychlost unikajícího hasiva.

Na snímcích 25 až 27 je pak na závěr vypočítána ze zákona zachování hybnosti rychlost, kterou vypouštěním hasiva udělí hasicí přístroj Wall-Emu. Snímky 28 a 29 obsahují závěr k uvedenému řešení. Snímky 30 až 32 už jen upozorňují na možné chyby vzniklé díky některým zjednodušujícím předpokladům.

Na konci prezentace je krátké poučení o tvorbě některých scén ve filmech.

Poučení

Láska i hory přenáší, tak proč by nepomohla Wall-Emu zpomalit a dostat se k sondě Eva. A když nepomůže láska, tak autor či scénárista jistě rád změní některé fyzikální zákony v hrdinův prospěch.

5.2.9 Mechanika tekutin – tlak

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Cílem tohoto textu a prezentace je ověřit reálnost popsané situace a určit velikost přísavky vzhledem k atmosférickému tlaku na Merkuru.

Student by měl umět popsat princip přísavky a fyzikální zákony související s tímto principem. Student by měl být schopen posoudit reálnost situace v ukázce na základě odhadu. Prezentaci je vhodné využít jako aktivizující metodu ve výuce.

Ukázku je možné využít na středních i základních školách k procvičování tlaku, nebo jako problémovou úlohu.

Uvedení do situace

Planeta Merkur je v budoucnu osídlena. Vzhledem k obrovským rozdílům teploty na přivrácené a odvrácené straně planety ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$; $420\text{ }^{\circ}\text{C}$) nejsou podmínky pro život příznivé na žádné z těchto stran. Kolonisté vyřešili problém tím, že postavili kolem rovníku kolejnice, po kterých se pohybuje město na rozhraní dne a noci. Ve městě žije Arnold, který je určité skupině nepohodlný. Jednoho dne se tato skupina rozhodne Arnolda zavraždit. Volba způsobu je drastická. Zločinci se rozhodnou připoutat oběť ke kolejím před pohybujícím se městem. Město pak oběť rozdrtí. Fyzikálně zajímavý je způsob, kterým zločinci oběť na koleje připoutají: zvolí přísavky.

Ukázka

ROBINSON, Kim Stanley. *Zločin na Merkur* [96]
přeložil Jindřich Smékal

« Na kolejnici, která nám byla nejbliž, jsem náhle něco zahlédl: nahoře, na obrovském válci, spočívala, s rukama a nohama rozpřaženými, lidská postava v lehkém, zeleném denním skafandru. Zastavil jsem auto. „Podívej!“

...

Jakmile jsme se dostali na povrch kolejnice, mohli jsme se po jejím širokém hřbetě bezpečně pohybovat.

...

Byl to Arnold, roztažený v poloze pro ukřižování a přibitý na místě třemi velkými, přísavnými, plochými sponami, které byly připoutány k jeho zápěstí a kotníkům a pak přichyceny k válci.

...

„Jsem rád, že vás vidím!“ křičel Arnold ochraptěle. „Ty spony drží jako blázen!“ „Jsou ke kolejnici přisáty, že?“ řekla Freya. „Jo!“

...

Když se Freya vrátila, měla v ruce tyč, na jednom konci zahnutou. „Páčidlo,“ poučila nás. »

Další vývoj ukázky

Arnolda se nakonec podaří osvobodit.

Předpoklady a strategie řešení

V této ukázce je trochu překvapivé, že autor použil k uchycení přísavky. Jejich síla závisí především na atmosférickém tlaku a ten je na Merkuru zanedbatelný.

Merkur sám o sobě atmosféru skoro žádnou nemá, pouze vlivem slunečního větru se na jeho povrchu vyskytuje tenká vrstva vodíku a hélia.

Otázku, kterou si můžeme položit: „Jak velké budou přísavky?“

Pro odhad přítlačné síly působící na přísavku můžeme vyjít z běžného života. V ukázce se píše, že přísavka „drží jako blázen“. Z každodenní zkušenosti by se určitě dalo říci, že předmět o hmotnosti 100 kg je „těžký jako blázen“. Z analogie můžeme přítlačnou sílu odhadnout na $F_p = 1\,000\text{ N}$.

Získaná data

Atmosférický tlak na Merkuru se odhaduje na $p_M = 10^{-10}\text{ Pa}$.

Rovňový poloměr Merkuru je přibližně 2 440 km.

Výpočty

Ze vztahu pro tlak můžeme vypočítat plochu, na jakou síla $F_p = 1\,000\text{ N}$ bude působit. Pro plochu dostáváme

$$S = \frac{F_p}{p_M}, \quad (5.73)$$

kde S je plocha přísavné spony, $F_p = 1\,000\text{ N}$ je přítlačná síla a $p_M = 10^{-10}\text{ Pa}$ je atmosférický tlak na Merkuru.

Po dosazení do předchozí rovnice dostáváme plochu $S = 10^{13}\text{ m}^2$ a poloměr přísavné kruhové spony bude $r_s \doteq 1\,800\text{ km}$.

Diskuse řešení

Průměr přísavky je nereálný (odpovídá skoro čtvrtině rovňového obvodu Merkuru), proto lze usoudit, že připoutat člověka přísavkami na Merkuru je nemožné. Autor se dopustil hrubé fyzikální chyby. Na Zemi je takové připoutání možné. Výsledek lze porovnávat s magdeburskými polokoulemi.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze K.

Na snímcích 2 a 3 je popis, čím se bude prezentace zabývat. Na snímcích 4 a 5 je pak ukázka z knihy Zločin na Merkuru [96].

Snímek 6 obsahuje některé typy používaných přísavek. Zde je vhodné, aby v hodině studenti popsali funkci přísavek. Na snímcích 7 a 8 je diskuse k ukázce s popisem funkce přísavky.

Snímky 9 a 10 obsahují data, která jsou popsána v diskusi.

Snímek 11 je pro problémovou úlohu klíčový, neboť zde by se měli žáci ve skupinkách, případně samostatně pokusit problém vyřešit. Je vhodné, pokud studenti tápou, zkusit s nimi probrat různé nápady, a tak je navést na použití definice tlaku.

Na snímcích 12 až 15 je pak řešení problému a na snímcích 16 až 18 je závěr.

Snímek 19 obsahuje fotografii, která byla pořízena při předvádění přísavek, které vyvinula firma DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) v rámci projektu Z-Man.

Na snímku 20 je ukázka funkce přísavek z filmu „Mission: Impossible – Ghost Protocol“ [97] z roku 2011.

Snímek 21 na závěr prezentace předkládá jednoduché poučení.

Poučení

Funkce přísavky je založena na atmosférickém tlaku. Ve vakuu přísavka nefunguje.

5.3 Molekulová fyzika a termika

5.3.1 Vlastnosti látek z hlediska molekulové fyziky – délková teplotní roztažnost

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Prezentace je zaměřena na výpočet rychlosti pohybu města na základě objemové roztažnosti. Může však být použita i jako motivace do hodin enviromentální výuky.

Prezentaci z pohledu metodiky lze zařadit do kategorie klasické výukové metody s prvky popisu.

Student by měl zvládnout výpočet objemové roztažnosti se zadanými součiniteli. Dále by měl být schopen aplikovat vztah pro práci a vztahy popisující nakloněnou rovinu. Student si zopakuje poznatky o obnovitelných zdrojích.

Ukázka je vhodná jako motivační úloha na středních školách či jako procvičovací úloha na výpočty.

Uvedení do situace

Planeta Merkur je v budoucnu osídlena. Vzhledem k obrovským rozdílům teploty na přivrácené a odvrácené straně planety ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$; $420\text{ }^{\circ}\text{C}$) nejsou podmínky pro život příznivé na žádné z těchto stran. Kolonisté vyřešili problém tím, že postavili kolem rovníku kolejnice, po kterých se pohybuje město na rozhraní dne a noci.

Ukázka

ROBINSON, Kim Stanley. *Zločin na Merkur* [96]
přeložil Jindřich Smékal

« Terminátor je oválné město. Jeho přední polovina je plochá a vyčnívá z průhledné kupole. Zadní polovina oválu je terasovitá a zvedá se až k vysoké Stěně rozbřesku, která nese horní okraj kupole a odstiňuje město od věčně vycházejícího Slunce.

...

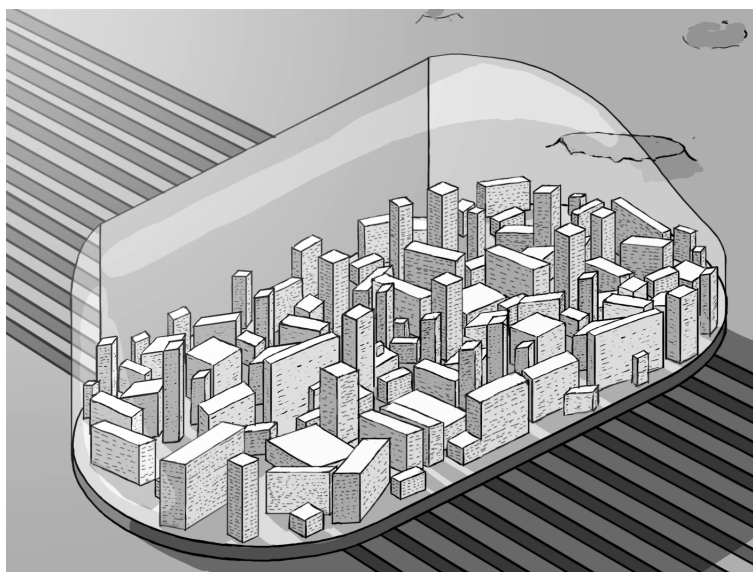
Pouhých dvě stě metrů nad námi zářil jasně bílým světlem samotný vrcholek Stěny rozbřesku, jak na něj dopadalo sluneční světlo.

...

Vně kupole se táhlo k obzoru dvanáct masivních kolejí, po nichž se město pohybovalo a obepínalo planetu jako tenký svatební prstýnek.

...

Mezitím se nad námi nehlučně přeploovalo město, poháněné rozpínáním samotných kolejnic. Rozumějte slitina, z níž jsou kolejnice zhotoveny, vydrží teplotu 425 stupňů za merkurského dne, ale při této teplotě se válce o něco rozepnou. Zde na Terminátoru je oblast, v níž rozpínání válců začíná, a hladká pouzdra nad námi v té chvíli lícovala s válci tak těsně, že jak se válce rozpínaly, město bylo posunováno k chladnějším, tenčím úsekům kolejnic západním směrem. Město je tedy na sluneční pohon, i když se slunečním paprskům nikdy plně nevystaví. Ta hnací síla je ve skutečnosti tak velká, že odporový systém, zabudovaný v pouzdrech, dává obrovské množství energie, kterou Terminátor tak úspěšně prodává zbytku civilizace. »



Obrázek 5.12 Ilustrace k ukázce z knihy, autorka Marcela Piptová

Další vývoj ukázky

Jak je patrné z ukázky, městu se daří dobře, neboť přebytečnou energii prodává ostatním koloniím ve sluneční soustavě.

Předpoklady a strategie řešení

Z ukázky se nabízí odhadnout energii potřebnou na pohyb města.

Pro odhad energie získané z brzdění města budeme nejprve muset odhadnout hmotnost města a následně materiálové vlastnosti kolejnic. Další údaje potřebné pro výpočty budou parametry Merkuru.

Pro popis pohybu města je nejjednodušší předpokládat dokonalý pohyb bez tření po kolejnicích obepínajících Merkur. Aby nedocházelo ke tření, předpokládejme, že celé město se pohybuje na elektromagnetických polštářích a nedotýká se kolejnic.

Protože Slunce zahřívá kolejnice a ty se teplem roztahují (objemová teplotní roztažnost), můžeme předpokládat, že celé město neustále klouže po nakloněné rovině. Nakloněná rovina vzniká zvětšením průřezu kolejnic na teplejší straně (přivrácená strana Merkuru ke Slunci) a menším průřezem kolejnic na straně odvrácené od Slunce. V ukázce je popisováno, že město je rozpínáním kolejnic tlačeno. Takovýto pohyb je pro výpočty komplikovaný, proto jej nahradíme pohybem po nakloněné rovině.

O kolejnicích budeme předpokládat, že jsou položeny na nosných podpěrách, které se nerozpínají. Podpěry by měly být postaveny tak, aby spodní strana kolejnice ležící na podpěrách byla na ekvipotenciální gravitační ploše Merkuru. Tento předpoklad je důležitý proto, aby se město na své cestě nezastavilo.

Poznámka 6

Vzhledem k tomu, že se většina materiálů a slitin (dle popisu v povídce) rozpíná ve všech směrech stejně, je velmi zajímavé zamyslet se nad tím, co by se dělo s kolejnicemi a jejich podpěrami. Protože se kolejnice na přivrácené straně budou prodlužovat a na

odvrácené straně se budou zkracovat, nelze předpokládat pevné spojení s podpěrami, jinak by mohlo dojít k poškození buď podpěr, nebo kolejnic. A protože se Merkur otáčí a rozhraní dne a noci se pohybuje ve směru otáčení (stejně tak i rozpínání a na opačné straně Merkuru zkracování kolejnic), musí docházet buď k dokonalému prokluzování kolejnic po celém objemu, nebo se kolejnice budou částečně otáčet kolem Merkuru. Toto znamená, že pro zjednodušení bude potřeba předpokládat konstrukci kolejnic takovou, že v podélném směru se roztahovat nebudou, nebo budou přerušované jako starší železniční kolejnice.

Energetický zisk z pohybu města tedy budeme získávat z brzdění na nakloněné rovině a to tak, aby se město *Terminál* pohybovalo konstantní rychlostí.

Pro maximální energetický zisk je potřeba, aby se kolejnice v radiálním směru rozpínaly co nejvíce. To proto, aby kolejnice měla co největší sklon. Jistě by bylo vhodné, aby se podpěry také rozpínaly a byly co nejdelší. Tím by náklon byl mnohem větší. Tento případ zde nebude řešen.

Získaná data

Tabulka 5.6 *Vlastnosti Merkuru [76]*

Merkur	
rovníkový průměr	4 880 km
obvod kolem rovníku	$\sigma_M = 15\,300$ km
tíhové zrychlení	$g_M = 3,7$ m · s ⁻²
teplota na odvrácené straně	90 K (−180 °C)
teplota na přivrácené straně	700 K (430 °C)
doba otočky kolem osy	58,64 pozemského dne
doba oběhu kolem Slunce	87,97 pozemského dne
délka dne na povrchu	175,88 pozemského dne

Tabulka 5.7 *Vlastnosti různých slitin [99], pro potřeby pozdějších výpočtů můžeme vzít střední hodnoty*

slitina	součinitel délkové teplotní roztažnosti
Al + Mn + Ni	$25 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹ až $30 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹
Cu + Mn + Ni	$15 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹ až $20 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹
Fe + Mn + Ni	$13 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹ až $16 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹
materiál kolejnic	$20 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹

Velikost města můžeme odhadnout z textu, neboť ze dna města je kupule ve výšce 200 m, a protože město je oválné, přičemž polovina města vystupuje z kupule, mohla by být šířka města 400 m a délka 800 m. Plocha města by pak byla $320\,000$ m² = $0,32$ km².

Vzhledem k tomu, že se rozhraní světla a tmy po povrchu Merkuru pohybuje rychlostí $3,6$ km · h⁻¹ (touto rychlostí se bude také pohybovat město), pak by vzdálenost

mezi šířkou ohřáté kolejnice a chladné kolejnice musela být rovna délce města, aby se město pohybovalo po co největším sklonu. To by znamenalo, že by se kolejnice musela ohřát o 600 K za čtvrt hodiny. Z tohoto důvodu délku a šířku města bude nutné zvětšit čtyřnásobně.

Délku města uvažujme $d = 3\,200$ m, šířku $s = 1\,600$ m. Rozloha města pak bude $S = 5,12$ km².

Jako největší problém se ukazuje odhad hmotnosti města. V tomto bodě pomohl Ing. Jiří Kott, Ph.D., který vystudoval stavební fakultu v Praze. Ten provedl odhad, cituji:

Ing. Jiří Kott, Ph.D.

« Případ vesmírného města můžeme srovnat s historickým jádrem Plzně, které má rozlohu přibližně 0,2 km². Město v evropském pojetí je zděné. Uvažujme tedy 3-4patrové zděné budovy s hustou blokovou zástavbou. Kdyby se zbouřalo (viz fotky z 2. světové války), vznikne vrstva sutí 2 metry vysoká. Stavební rum má hustotu 1 300 kg · m⁻³ [100]. Předpokládejme, že by v takovémto městě mohlo žít 200 tisíc lidí a jeho hmotnost by mohla být 10¹⁰ kg. »

Protože město *Terminál* na Merkuru potřebuje ještě technické zázemí (recyklace vody, vzduchu, likvidace odpadu, kupuli a další nezbytné vybavení), můžeme uvažovat o hmotnosti minimálně desetkrát větší, asi $m_T = 10^{11}$ kg.

Při šířce města $s = 1\,600$ m by měla být vzdálenost středů kolejnic 120 m. To proto, aby se váha rovnoměrně roznesla na všech dvanáct kolejnic. Kolejnice jsou v knize popisované ve tvaru válce. Průměr kolejnice uvažujme 100 m na odvrácené straně Merkuru, jedná se o opravdu velké kolejnice. Průměr byl zvolen co možná největší.

U spotřeby předpokládejme, že každý člověk spotřebuje za jeden merkurovský den přibližně 40 GJ energie. (Merkurovský den odpovídá jednomu oběhu města kolem Merkuru.) Zde byl proveden přepočítání průměrné spotřeby energie z pozemského roku na merkurovský den, ten je přibližně poloviční než pozemský rok, vizte tabulku 5.6. Průměrnou spotřebu energie jednoho člověka za rok na Zemi zjistíme v *International Energy Statistics – EIA* [98], zde je uvedena průměrná celosvětová hodnota spotřebované energie na jednoho člověka, a to $75 \cdot 10^6$ BTU \doteq 80 GJ (z roku 2011).

Výpočty

Pro výpočet náklonu využijeme vzorce pro délkovou teplotní roztažnost

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T) , \quad (5.74)$$

kde $l_0 = 100$ m označuje průměr chladné kolejnice, l označuje průměr ohřáté kolejnice, $\alpha = 20 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹ je součinitel délkové teplotní roztažnosti, vizte tabulku 5.7 a $\Delta T = 610$ K je rozdíl teplot chladné a teplé části kolejnic. Tato hodnota je dána rozdílem teplot na přivrácené straně a odvrácené straně Merkuru od Slunce, vizte tabulku 5.6.

Poznámka 7

Předpokládáme samozřejmě největší možný rozdíl teplot, aby se co možná nejvíce projevila délková teplotní roztažnost.

Bod tání uvedených slitin neřešme a předpokládejme, že maximální teploty přes den vydrží.

Po dosazení vyjde průměr ohřáté kolejnice $l \doteq 101,2$ m. Pro potřeby pozdějších výpočtů uvažujeme změnu šíře kolejnic $\Delta l = 1,2$ m.

Pro úhel náklonu pak máme vztah

$$\phi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta l}{d} \right), \quad (5.75)$$

kde Δl je změna šířky kolejnice a $d = 3\,200$ m je délka města, které se pohybuje po takto vytvořené nakloněné rovině.

Po dosazení dostaneme přibližně úhel $\phi = 0,021^\circ$.

Pro zrychlení města využijeme vztahu pro zrychlení na nakloněné rovině, a proto můžeme psát

$$a = g_M \cdot \sin \phi, \quad (5.76)$$

kde $g_M = 3,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je tíhové zrychlení na Merkuru a ϕ úhel náklonu.

Po dosazení vychází zrychlení přibližně $a \doteq 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Nyní už zbývá odhadnout energetický zisk z brzdění města a spotřebu energie ve městě.

Pro dvoustetisícové město s průměrnou spotřebou na jednoho obyvatele dostáváme energii $E_{\text{spotřeba}} = 200\,000 \cdot 40 \cdot 10^9 \text{ J} = 8\,000 \text{ TJ}$.

Pro energetický zisk během jednoho „dne“ na Merkuru pak dostáváme podle vztahu

$$E = m_T \cdot a \cdot o_M, \quad (5.77)$$

kde $m_T = 10^{11} \text{ kg}$ je hmotnost města, a je zrychlení města a $o_M = 15\,300 \text{ km}$ je obvod Merkuru. Zde byl použit vzorec pro práci, jen označení je netradičně E . Uvažujeme samozřejmě ideální případ, kdy veškerá práce na brzdění je přeměněna na elektrickou energii, případně na jiný dobře využitelný druh energie.

Po dosazení hodnot dostáváme energii $E \doteq 2\,142 \text{ TJ}$.

Diskuse řešení

Závěr je již zřejmý, spotřebu energie samotného města by bylo stěží možné pokrýt brzděním města. Zde nepředpokládáme jiné ztráty energie, které by bylo nutné také započítat. Teoreticky by bylo možné využít ještě fotovoltaických panelů a solárních kolektorů.

V knize autor popisuje, jak toto město přebytečnou energii prodává do celé sluneční soustavy. To možné není, získaná energie by zvládla stěží pokrýt jen vlastní spotřebu města.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze L.

Snímky 2 až 4 popisují, co se bude v prezentaci řešit. Na snímcích 5 a 6 je ukázka z knihy.

Snímek 7 obsahuje kresbu, která zobrazuje pohybující se město. Kresba nemá nic společného s knihou a do prezentace je vložena jen jako ilustrace. Město se na obrázku pohybuje po pásech, nikoliv po kolejnicích, a navíc se pohybuje v kolmém směru, než jak uvádí autor v knize. Zároveň zde chybí Stěna rozbřesku.

Na snímcích 8 až 11 je diskuse a podmínky, za kterých provedeme řešení. Na snímku 12 je video demonstrující objemovou teplotní roztažnost.

Snímky 13 až 16 shrnují údaje získané o Merkuru. Snímky 17 až 25 popisují odhad velikosti města z ukázky. Zajímavé jsou snímky 21 a 22, kde je proveden odhad hmotnosti města z množství sutin, které bylo potřeba odstranit po 2. světové válce. Snímky 26 až 28 popisují materiály, z kterých by mohly být vytvořeny kolejnice, na kterých se město na Merkuru (*Terminál*) pohybuje. Na snímcích 29 a 30 je odhad spotřeby energie jedním člověkem žijícím ve městě. Spotřeba byla převzata z *International Energy Statistics – EIA* [98]. Tento údaj je možné nechat studenty dohledat na internetu, neboť při hledání se setkají s velmi zajímavými otázkami o růstu populace na světě a jejich spotřebě světových zdrojů.

Na snímcích 31 až 34 je pak proveden výpočet energie získané z brzdění města. Zde je potřeba připomenout, že se jedná o velmi hrubý odhad. Předpokládáme totiž, že veškerou práci vynaloženou na brzdění města můžeme přeměnit na užitečnou energii. Způsob samotného brzdění řešen není.

Snímky 35 až 37 shrnují množství potřebné energie a možnou produkci města.

Na snímcích 38 až 45 je pak soupis obnovitelných zdrojů, které je možné na Merkuru využít. Zde lze se studenty probrat možnosti uplatnění všech zdrojů na Zemi a věnovat se tak environmentální výchově. Prezentace pak může být použita jako upoutávka nebo motivace k hodinám environmentální výchovy. Je vhodné rozebrat důvody, proč daný typ obnovitelného zdroje energie může nebo nemůže být na Merkuru použit.

Snímky 46 a 47 obsahují krátké poučení. Na posledním snímku 48 je video popisující princip rekuperace brzděné energie v autě.

Poučení

Brzděním těles na nakloněné rovině tak, aby se pohybovala rovnoměrně, je možné získávat energii. V ukázce však autor velikost takto získané energie přecenil.

Podobný systém založený na zisku energie při brzdění se využívá při rekuperaci energie brzd v některých typech aut.

5.3.2 Stavové změny ideálního plynu – stavová rovnice ideálního plynu

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Prezentace se hodí jako motivační ukázka v hodinách fyzikálního semináře nebo k procvičení matematických úprav rovnic. Prezentaci lze také využít jako předvánoční zpestření hodin fyziky, protože se v prezentaci vyskytuje motiv ryb.

Student získá zkušenosti s úpravami rovnic, procvičí si stavovou rovnici ideálního plynu a Archimédův zákon. Prezentace byla vytvořena ve formě přednášky (klasická výuková metoda) s prvky skupinové či kooperativní výuky.

Uvedení do situace

V povídce „Den, kdy zavřeli mrazírny“ [101] je popisováno setkání hlavního hrdiny s tvorem (hvězdným pstruhem), který se vznáší v atmosféře. Hvězdný pstruh má pórovité maso vyplněné vodíkem, díky vodíku se tak může ve vzduchu vznášet jako pouťový balónek. Hmotnost takovéto ryby není velká, ale objem velký je.

Ve druhé ukázce 5.12 ze seriálu „Doctor Who“ se hlavní hrdina také setkává nejdříve s malými rybkami plujícími v blízkosti rozsvícené pouliční lampy. V dalším záběru se hlavní hrdina nachází v místnosti s otevřeným oknem, do které se snaží nalákat větší rybičku. To se mu po chvíli povede. Vzápětí však připluje veliký žralok a rybičku sežere. Hlavní hrdina se pak vydává na rychlý ústup do bezpečí.

Ukázka

POHL, Frederick. *Den, kdy zavřeli mrazírny* [101]

« Pulcher konečně vypadl ven, na studenou a rozčvachtanou ulici. Na rohu zahlédl, že nahoře něco bledě září, a zůstal stát jako přikován. Ulicí majestátně proplouval obrovský hvězdný pstruh. Bylo to monstrum dlouhé přinejmenším tři a půl metru a uprostřed bylo silné víc než půl metru; mohlo vážit dobrého půl kila. Byla to jedna z těch ryb, kvůli nimž sportovci lezli přes celé pohoří Dismal Hills, aby ji mohli ulovit. Pulcher takhle velkou rybu ve svém životě ještě neviděl. Vlastně si pamatoval jenom pár rybek, které viděl plavat nad obydlenými oblastmi.

Vyvolalo to v něm deprimující, úzkostné pocity.

Hvězdné ryby byly téměř jedinou turistickou atrakcí, která planetě Altair Devět ještě zbyla. Z celé Galaxie je sem přicházeli lovci střilet: měly skvělé pórovité maso, vyplněné bublinami vodíku; byly to opravdové biologické zeppelin, které ve vzduchu nelétaly, nýbrž pluly. Než sem dorazili lidé, byly to nejvyšší formy života na Altairu Devět. Zastřelit je bylo tak snadné, že v obydlených oblastech byly téměř úplně vyhubeny; pouze ve vysokých, chladných horách jich pár přežilo. A teď...

Byly si i ryby vědomy toho, že se z Altairu Devět stává planeta duchů? »



_Video/K2C04/gravitace_RybyPlujiciVlze_DoctorWhoS05E14.avi

Film 5.12: Ukázka ze seriálu „Doctor Who“ (A Christmas Carol S05E14) [102]

Další vývoj ukázek

V knize se nakonec Altair 9 stane pustým světem.

Ve videoukázce se hlavnímu hrdinovi podaří uniknout z místnosti se žralokem a později si ho ochočí.

Předpoklady a strategie řešení

Z knižní ukázky můžeme zkusit zjistit, zda autorův odhad hmotnosti ryby je správný. Výpočtem můžeme zjistit, jakou hmotnost bude mít rybí maso za normálních podmínek, odstraníme-li z něho všechnen vodík, který ho nadnáší.

Ryby se ve vodě směrem ke dnu a k hladině pohybují tak, že zvětšují objem plynového měchýře (latinsky *vesica natatoria*). V případech z ukázky budeme předpokládat, že ryby mají mnoho malých měchýřků naplněných vodíkem, ty jim zajišťují základní vztlak a jeden velký měchýř, který jim umožňuje pohyb směrem k povrchu a od povrchu.

Poznámka 8

Plynový měchýř zároveň u pozemských ryb funguje jako zásobárna vzduchu a u některých druhů ryb jako rezonátor, který jim umožňuje zlepšit sluchovou citlivost, nebo naopak vydávat nízkofrekvenční zvuky.

Dále se pokusme najít vztah mezi objemem rybího těla s vodíkem v závislosti na tlaku, nebo v závislosti na výšce v atmosféře. V tomto případě budeme předpokládat, že tlak se s výškou mění dle Boyleova-Mariottova zákona (izotermicky). Odvozená rovnice se často označuje jako barometrická rovnice.

Získaná data

Objem rybího těla s vodíkem odhadněme z ukázky na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$. Při vypuštění všech malých měchýřků a velkého plynového měchýře označme hmotnost rybího masa

jako m_s a budeme-li předpokládat, že ryba je tvořená převážně svalovinou, pak hustota svaloviny bude $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Normální tlak vzduchu (normální atmosférický tlak) při mořské hladině na 45° s.š. na Zemi a při teplotě $T = 288 \text{ K} \Leftrightarrow t = 15^\circ \text{ C}$ a tíhovém zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ je $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$. Budeme zároveň předpokládat, že planeta v ukázce je ve všech fyzikálních ohledech stejná jako Země.

Molární hmotnost vzduchu je $M_{\text{vz}} = 28,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, molární hmotnost vodíku je $M_{\text{H}} = 1,008 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Výpočty

Nejdříve si ze stavové rovnice ideálního plynu odvodíme vztah pro hustotu vzduchu a objem vodíku při známém tlaku.

Stavová rovnice ideálního plynu má tvar

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (5.78)$$

kde p je tlak plynu, V je objem plynu, m je hmotnost plynu, M je molární hmotnost plynu, $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ je molární plynová konstanta a T je termodynamická teplota plynu.

Vydělíme-li rovnici 5.78 objemem V , dostaneme tvar

$$p = \frac{\rho}{M} \cdot R \cdot T, \quad (5.79)$$

kde ρ je hustota plynu. Dosazením hodnot pro vzduch dostáváme rovnici, která popisuje hustotu vzduchu v závislosti na teplotě a tlaku

$$\rho_{\text{vz}} = \frac{p \cdot M_{\text{vz}}}{R \cdot T}. \quad (5.80)$$

Z rovnice 5.78 si můžeme též připravit vztah pro výpočet objemu vodíku v rybím těle. Stačí dosadit hodnoty platné pro vodík, dostáváme tak

$$V_{\text{H}} = m_{\text{H}} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{\text{H}} \cdot p}. \quad (5.81)$$

Pro objem rybiho těla naplněného vodíkem můžeme psát

$$V_{\text{r}} = \frac{m_s}{\rho_s} + V_{\text{H}}. \quad (5.82)$$

Po dosazení za V_{H} z rovnice 5.81 dostáváme tvar

$$V_{\text{r}} = \frac{m_s}{\rho_s} + m_{\text{H}} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{\text{H}} \cdot p}. \quad (5.83)$$

Pro další potřeby si z rovnice 5.83 vyjádříme hmotnost vodíku m_{H} , a to ve tvaru

$$m_{\text{H}} = \left(V_{\text{r}} - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_{\text{H}} \cdot p}{R \cdot T}. \quad (5.84)$$

Nyní si vyjádříme silové působení na rybu. Na rybu působí především tíhová síla a vztlaková síla. Aby se ryba volně vznášela, musí tyto dvě síly být v rovnováze. Vztlaková síla je dána Archimédovým zákonem. Po dosazení za tyto dvě síly a vykrácení rovnice tíhovým zrychlením dostáváme tvar

$$m_s + m_H = V_r \cdot \rho_{vz} . \quad (5.85)$$

Dosazením vztahů 5.80 a 5.84 do rovnice 5.85 dostáváme již skoro konečný vztah

$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T} . \quad (5.86)$$

Z rovnice 5.86 již několika jednoduchými úpravami vyjádříme hmotnost samotné svaloviny. Výsledný tvar bude

$$m_s = \frac{\frac{V_r \cdot p}{R \cdot T} (M_{vz} - M_H)}{1 - \frac{M_H \cdot p}{\rho_s \cdot R \cdot T}} . \quad (5.87)$$

Po dosazení vychází $m_s \doteq 0,8$ kg.

Nyní se pusťme do problematiky vztahu objemu rybího těla v závislosti na tlaku (případně na výšce v atmosféře).

Z rovnice 5.85 vyjádříme m_H a porovnáme s rovnicí 5.84 a dostáváme tak rovnici

$$V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T} - m_s = \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} . \quad (5.88)$$

Nyní již stačí z rovnice 5.88 vyjádřit objem ryby V_r , nejdříve po roznásobení dostáváme

$$V_r \left(\frac{M_{vz}}{M_H} - 1 \right) = m_s \left(\frac{R \cdot T}{M_H \cdot p} - \frac{1}{\rho_s} \right) , \quad (5.89)$$

po vydělení pak

$$V_r = \frac{m_s \left(\frac{R \cdot T}{M_H \cdot p} - \frac{1}{\rho_s} \right)}{\left(\frac{M_{vz}}{M_H} - 1 \right)} . \quad (5.90)$$

Jako další krok zkusme odvodit barometrickou rovnici udávající změnu tlaku se vzrůstající výškou od povrchu země. Budeme-li předpokládat, že tlak se mění podle Boyleova-Mariottova zákona, můžeme v atmosféře vymezit vrstvu vzduchu o hustotě ρ , která se nachází ve výšce h . Teplota se v tomto případě měnit nebude, neboť se jedná o izotermický děj. Ze vztahu pro hydrostatický tlak lze pro tlakový rozdíl ve vrstvě psát

$$dp = -\rho_{vz} \cdot g \cdot dh , \quad (5.91)$$

kde dp je diferenciální změna tlaku vzduchu, ρ je hustota vzduchu a dh je diferenciální změna výšky.

Do rovnice 5.91 dosadíme za ρ_{vz} vztah 5.80 a dostáváme tak diferenciální rovnici. Integrací této rovnice dostáváme tvar

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\frac{g \cdot M_{vz}}{R \cdot T} \cdot \int_{h_0}^h dh , \quad (5.92)$$

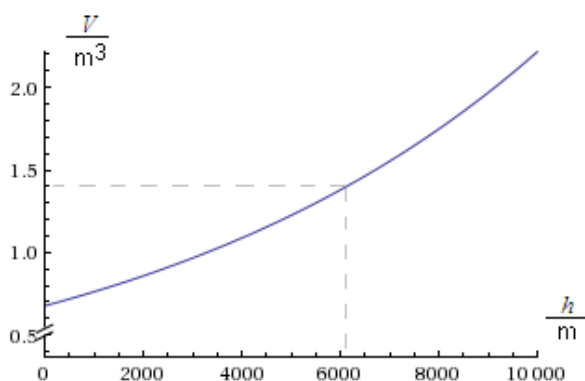
kde p_0 je tlak ve výšce h_0 .

Integrací nakonec dostáváme barometrickou rovnici ve tvaru

$$p = p_0 e^{-\frac{g \cdot M_{vz}}{R \cdot T} (h - h_0)}, \quad (5.93)$$

Dosazením 5.93 do 5.90 dostaneme závislost objemu rybího těla v závislosti na výšce h ve tvaru

$$V_r = \frac{m_s \left(\frac{R \cdot T}{M_H \cdot p_0} e^{\frac{g \cdot M_{vz}}{R \cdot T} (h - h_0)} - \frac{1}{\rho_s} \right)}{\left(\frac{M_{vz}}{M_H} - 1 \right)}. \quad (5.94)$$



Obrázek 5.13: Závislost objemu ryby na výšce nad zemí. Šedě je naznačena výška, ve které by ryba měla mít dvojnásobný objem. [odkaz na stránky Wolfram Alpha]

Diskuse řešení

Hmotnost ryby v ukázce z knihy odpovídá našim odhadům. Autor uvádí hmotnost $m_s = 0,5$ kg, výpočtem jsme odhadli hmotnost na $m_s \doteq 0,8$ kg.

V grafu 5.13 je zachycena závislost objemu ryby na výšce nad zemí. Je zajímavé, že ve výšce zhruba 6 km se objem ryby zvětší dvojnásobně. Už samotná představa zvětšování ryby na dvojnásobek svého objemu může být podivná. Na druhou stranu ve světě mořských ryb existuje například *ježik hnědý*, který dokáže zvětšit svůj objem až 4×. Kdyby ryba z ukázky dokázala stejným způsobem zvětšovat objem, pak by se ryby na Altairu devět mohly vyskytovat i ve dvanáctikilometrových výškách.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze M.

Na snímcích 2 až 4 je vysvětlení, čím se bude prezentace zabývat. Snímky 5, 6 a 7 uvádějí studenta do situace. Na snímku 7 je video zobrazující situaci z knihy. Na snímcích 8 až 10 je krátká diskuse k řešení.

Na snímcích 11 až 16 jsou sepsány konstanty použité při výpočtech. Na snímcích 17 až 30 je proveden výpočet hmotnosti svaloviny ryby tak, aby se při daném objemu mohla volně vznášet ve vzduchu. Studenti by měli některé úpravy cvičně provést v lavici.

Od snímku 31 je vložena druhá část prezentace, na které je odvozena závislost objemu rybího těla na výšce v atmosféře (počítáno od povrchu země). Zde je pro zajímavost přidáno, že se nemusí jednat pouze o rybí tělo, ale například o pouťový balónek.

Snímky 32 a 33 obsahují krátkou diskusi o podmínkách řešení. Na snímcích 34 a 35 je odvozen vztah pro výpočet závislosti objemu ryby na tlaku.

Na snímku 36 je barometrická rovnice. Rovnici v prezentaci neodvozují, neboť pro odvození je nutné znát diferenciální počet, odvození je provedeno pouze zde, v prezentaci se nevyskytuje. Odvození barometrické rovnice je totiž vhodnější vynechat a uvést rovnici bez odvození. Na snímcích 37 a 38 je pak výsledný vztah pro objem ryby (balónku) v závislosti na výšce. Snímek 39 obsahuje graf této závislosti.

Na snímcích 40 a 41 je krátké poučení.

Snímek 42 obsahuje krátké video zobrazující reálnou situaci s rybou plující v atmosféře Země. Rybu (vzducholod) je možné i zakoupit na internetu.

Poučení

Vztlková síla závisí na hustotě prostředí, ve kterém je objekt ponořen a tlak plynů uvnitř tělesa se mění s okolním tlakem.

Stoupá-li těleso, například balón, do velkých výšek, zmenšuje se na něj působící tlaková síla. Ta způsobuje rozpínání plynu uvnitř. Nafouknutý pouťový balónek pak ve výšce kolem dvou kilometrů obvykle praskne, neboť jeho velikost se zvětší o čtvrtinu, což materiál nafouknutého balónku nevydrží.

5.3.3 Přeměny skupenství látek – vypařování

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Prezentace je zaměřena na přeměnu kinetické energie na teplo.

Student bude schopen aplikovat kalorimetrickou rovnici a bude rozumět pojmu výparné teplo. Bude také schopen si představit následky dopadu asteroidu na Zemi.

Příklad se hodí jako motivační úloha na změny skupenství látek.

Uvedení do situace

Ve filmu „BattleShip“ je scéna, v níž se k Zemi blíží neidentifikovatelné objekty, ze kterých se vyklubou mimozemské kolonizační lodě. Jejich přílet je nečekaný a velmi překvapivý, neboť plnou rychlostí spadnou do vody a následně ji začnou využívat jako palivo.

Ukázka



Film 5.13: Ukázka z filmu „BattleShip“ [103]

V ukázce 5.13 je vidět dopad čtyř objektů (hvězdných lodí) do oceánu.

Předpoklady a strategie řešení

Zkusme odhadnout, jaká energie by se mohla při dopadu uvolnit a kolik vody (při dopadu do oceánu) by se teoreticky mohlo vypařit. Výsledek našeho odhadu můžeme porovnat s appletem na internetové stránce *Impact: Earth!* [104].

Pro potřeby následujících výpočtů předpokládejme, že při průchodu atmosférou objekt prakticky nezmění svoji rychlost a při dopadu se většina kinetické energie přemění na teplo.

Reálná situace je samozřejmě o dost složitější, neboť objekt se v atmosféře zpomalí a zahřeje. Díky zahřátí dochází k rozpadu objektu na menší části. Dalším důležitým faktem je, že objekt velkou část své hybnosti předá vodě (pokud spadne do oceánu) a vznikne tak vlna tsunami.

Velmi pěkně je reálná situace popsána v dokumentaci k appletu na internetových stránkách *Impact: Earth!* [104].

Získaná data

Rychlost dopadu jednoho objektu můžeme odhadnout na $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Ve filmu je totiž scéna, ve které se objekty (vesmírné lodě) velmi rychle přibližují k Zemi. Protože se Země na své trajektorii pohybuje rychlostí řádově v desítkách kilometrů za sekundu, lze rychlost v považovat za dobrý odhad.

Hmotnost jedné lodě lze odhadnout na $m = 500\,000 \text{ tun} = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$. Hmotnost je odhadnuta z hmotnosti námořních bitevních lodí třídy Iowa a je desetkrát zvětšena. Kdyby objekt měl tvar koule, pak by při poloměru 80 m měl hustotu zhruba $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Množství vodní páry v atmosféře je velmi proměnlivé. Vzduch může být úplně suchý, nebo může obsahovat až 4% vody v podobě vodní páry, v tomto případě se jedná o nasycenou vodní páru. Vodní páru v mraku (těsně před deštěm) lze považovat za nasycenou. Výška, ve které se nachází spodní strana bouřkových mražen, je obvykle 2 km.

Průměrná hmotnost vodní páry v atmosféře se v České republice pohybuje od $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ v zimě až do $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ v létě. Pro srovnání v suchých oblastech Antarktidy to je jen $0,02 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Pro množství vodní páry v atmosféře platí, že čím vyšší je teplota a tlak atmosféry, tím více v ní bude vodní páry. Pro naše potřeby můžeme předpokládat, že ve výšce 2 km bude tlak 90 kPa, teplota vzduchu $10 \text{ }^\circ\text{C}$ (na 100 m výšky teplota klesá o $1 \text{ }^\circ\text{C}$) a bude zde přibližně 10 g vodní páry v 1 m^3 .

Teplotu oceánu a vzduchu u hladiny uvažujeme $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Výpočty

Nejdříve si spočítáme kinetickou energii objektu (vesmírné lodi) podle vzorce

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2, \quad (5.95)$$

kde $m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$ je hmotnost pohybujícího se objektu a $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ je rychlost objektu těsně před dopadem do oceánu. Tření v atmosféře zanedbáme. Po dosazení vychází energie $E_k = 2,25 \cdot 10^{17} \text{ J}$.

Poznámka 9

Při dopadu můžeme ohřívání vody v oceánu na teplotu varu zcela zanedbat, neboť energie bude rozptýlena jen v lokální části oceánu a vůči výparnému teplu je mnohonásobně menší.

Z didaktických důvodů je však vhodnější započítat i energii potřebnou k ohřevu vody.

Za předpokladu, že všechna kinetická energie se přemění na teplo, můžeme vypočítat hmotnost vody, která se z oceánu vypaří. Hmotnost vypařené vody vypočítáme ze vztahu

$$m_v = \frac{E_k}{c_v \cdot \Delta T + l_v}, \quad (5.96)$$

kde $c_v = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ je měrná tepelná kapacita, $\Delta T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ je změna teploty oceánu do bodu varu a $l_v = 2\,257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ je měrné skupenské teplo varu vody.

Po dosažení vychází hmotnost odpařené vody z oceánu $m_v = 8,7 \cdot 10^{10}$ kg.

Za předpokladu, že atmosféra pojme $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ vodní páry v nasyceném stavu, pak by oblak při tloušťce 200 m měl rozlohu zhruba $4 \cdot 10^4 \text{ km}^2$.

Budeme-li uvažovat odpařenou vodu ve formě vodní páry na hladině oceánu při teplotě varu, pak za normálního tlaku (100 kPa) je hustota páry $0,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Bude-li mít vrstva páry tloušťku 200 m, pak by vzniklá pára pokrývala plochu 725 km^2 a mohla by mít na šířku a délku zhruba 27 km. Teplota takové vrstvy by byla $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Vypočtené hodnoty ještě musíme vynásobit čtyřmi, neboť jsme spočítali objem páry vzniklé při dopadu jednoho objektu (vesmírné lodi) a v ukázce se vyskytují hned čtyři objekty.

Diskuse řešení

Při dopadu čtyř objektů do oceánu by se teoreticky mohlo odpařit $35 \cdot 10^{10}$ kg vody. Ve skutečnosti to bude méně, neboť neuvažujeme zpomalení objektů v atmosféře a ztrátu energie potřebnou na rozpohybování masy vody ve formě vlny tsunami.

U povrchu oceánu by vznikla vodní pára o teplotě $100 \text{ }^\circ\text{C}$, tloušťce 200 m a délce a šířce přibližně 50 km.

V případě, že vodní pára vytvoří oblak ve výšce 2 km, pak při tloušťce 200 m bude mít tento mrak délku a šířku přibližně 400 km. Pro představu se jedná o plochu, která by zakryla rozlohou dvě České republiky.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze N.

Na snímcích 2 až 4 je popis, čím se budeme v prezentaci zabývat. Snímek 5 obsahuje ukázkou z filmu „Battleship“ [103]. Na snímcích 6 a 7 je diskuse podmínek, za nichž provedeme výpočet.

Snímky 8 až 13 obsahují soupis odhadnutých hodnot potřebných pro výpočty.

Na snímcích 14 až 18 je proveden výpočet. U snímků 14 a 16 je vhodné dát studentům prostor k provedení výpočtů (nejlépe ve dvojicích). Na snímku 18 je zdůrazněno, že výpočet objemu odpařené vody můžeme počítat za různých podmínek: buď jako páru o teplotě varu, nebo jako vodní páru ve formě mraku.

Na snímku 19 je závěr pro variantu s horkou párou. Na snímcích 20 a 21 je závěr pro variantu s mrakem v atmosféře.

Snímky 22 až 24 obsahují krátké poučení. Na snímku 25 je ukázkou z appletu „Impact: Earth!“ [104], ve kterém jsou počítány důsledky srážky Země se zadaným objektem. U objektu je vhodné předpokládat tvar koule, pak by námi zvolený objekt při poloměru 80 m měl mít hustotu zhruba $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Na posledním snímku 26 je video popisující katastrofu před 65 miliony let.

Poučení

K přeměně energií dochází vždy. Nejčastější přeměna je přeměna na teplo.

Při dopadu větších objektů z vesmíru můžeme vždy předpokládat velké problémy pro civilizaci. Podobná katastrofa pravděpodobně způsobila vymření dinosaurů na přelomu druhohor před zhruba 65 miliony lety. Odhaduje se, že tehdejší katastrofu způsobil objekt o hmotnosti zhruba 10^{16} kg.

5.4 Mechanické kmitání a vlnění

5.4.1 Mechanické kmitání – matematické a fyzikální kyvadlo

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

V prezentaci je provedeno odvození vztahu pro periodu matematického a fyzikálního kyvadla.

Student získá vhled do odvození periody matematického kyvadla a získá představu o podmínkách platnosti tohoto odvození.

Ukázku lze využít v hodinách fyziky na střední škole, případně v hodinách matematiky. Z matematického pohledu je v odvození užito několik lineárních aproximací, které lze využít ve výuce infinitezimálního počtu.

Prezentace navíc obsahuje ukázkou chování kyvadla a pružinového oscilátoru ve stavu beztlíže a na konec prezentace je vložena ukázkou spřažených kyvadel, která je motivována ukázkou z mezinárodní vesmírné stanice. Ukázkou je v anglickém jazyce, studenti či pedagog si tak může procvičit své znalosti anglického jazyka.

Ukázkou z filmu je v tomto textu použita pouze jako motivační, odvození matematického a fyzického kyvadla s ukázkou nesouvisejí.

Uvedení do situace

Hlavní hrdina MacGyver (ze stejnojmenného seriálu) je zajat několika zlými lidmi a připoután k desce stolu. Nad hlavním hrdinou se kývá kyvadlo s ostrým břitem, které je připevněno k vodnímu mechanismu, který postupně s ubývající vodou kyvadlo posouvá stále níž. Hlavnímu hrdinovi hrozí, že bude břitem kyvadla rozpůlen. (Scéna je stejná jako v povídce E.A. Poa, „Jáma a kyvadlo“.) O kousek dál, za hlavou spoutaného MacGyvera, je jeho známá, která drží lotry v šachu. Vyhrožuje jim totiž zničením žezla, které společně s MacGyverem našli a které lotři chtějí ukrást. Lotrům se však v jednu chvíli podaří zmocnit žezla a místnost i z MacGyverovou známou opustí a hlavního hrdinu zanechají jeho osudu.

Ukázka

Další vývoj ukázky

MacGyverovi se nakonec podaří zastavit vodu, která uvolňuje kyvadlo a později jej procházející uklízečka odpoutá od stolu.

Předpoklady a strategie řešení

Z ukázky je možné změřit dobu jednoho kyvu kyvadla a následně tak odhadnout velikost celého kyvadla.

Pro jednoduchost můžeme předpokládat, že kyvadlo se chová jako matematické kyvadlo a zkusit odhadnout délku kyvadla v ukázce. Následně můžeme provést odvození pro fyzikální kyvadlo a vypočítat délku kyvadla dle odvozeného vztahu.



Film 5.14: Ukázka z filmu „MacGyver“ (S05E01) [105]

Získaná data

Doba kyvu kyvadla v ukázce je 1,7 s, kyvadlo se kývá s periodou $T = 3,4$ s. Hodnotu byla určena rozbořením časových značek jednotlivých snímků filmu.

Odchylku kyvadla od rovnovážné polohy z filmové ukázky odhadneme na $\varphi \doteq 30^\circ$.

Výpočty – matematické kyvadlo

Při odvození vycházíme ze zákona zachování energie ve tvaru

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} , \quad (5.97)$$

kde E_k značí kinetickou energii kyvadla a E_p potenciální energii kyvadla. Čísly je označeno kyvadlo v krajní poloze a v nejnižší poloze.

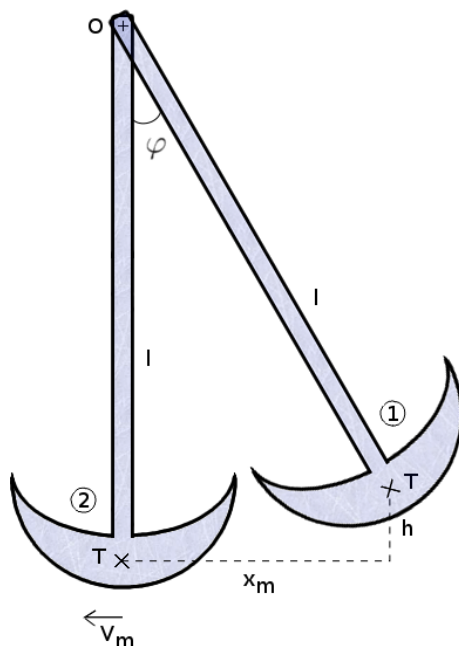
Nejprve odvodíme vztah pro periodu matematického kyvadla bez momentu setrvačnosti. Můžeme-li, předpokládáme, že kyvadlo je tvořené nehmotnou nití a hmotným bodem, pak po dosazení do 5.97 dostaneme tvar

$$mgh = \frac{1}{2}m v_m^2 , \quad (5.98)$$

kde m je hmotnost kyvadla, $g \doteq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je tíhové zrychlení, h označuje rozdíl výšky hmotného bodu v krajní poloze kyvu od výšky hmotného bodu v rovnovážné (nejnižší) poloze a v_m je rychlost kyvadla v rovnovážné poloze (amplituda rychlosti). Vizte označení na obrázku 5.14.

Z obrázku 5.14 můžeme vypočítat výšku h a následně můžeme tento vztah aproximovat, dostaneme tak

$$h = l(1 - \cos \varphi) \approx \frac{1}{2}l\varphi^2 , \quad (5.99)$$



Obrázek 5.14: Kyvadlo v krajní poloze kyvu a v rovnovážné (nejnižší) poloze

kde l je délka matematického kyvadla a φ je úhel mezi krajní polohou kyvadla a rovnovážnou polohou.

Poznámka 10

Bude-li úhel φ v radiánech, pak lze $\cos \varphi$ rozepsat dle Pythagorovy věty, následně rozvineme odmocninu a $\sin \varphi$ do Taylorova polynomu. Po zanedbání členů s řádem vyšším než prvním dostaneme výsledný aproximovaný tvar

$$l(1 - \cos \varphi) = l \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} \right) \approx l \left(1 - \sqrt{1 - \varphi^2} \right) \approx l \left(1 - 1 + \frac{1}{2} \varphi^2 \right) = \frac{1}{2} l \varphi^2 . \quad (5.100)$$

Pro výše uvedenou aproximaci se uvádí omezení pro úhel φ , který by měl být menší než 0,1 rad nebo 5° . Toto omezení se uvádí proto, aby rozdíl mezi $\sin \varphi$ a φ byl menší než 10^{-3} . Při větších výchylkách úhlu φ se rozdíl zvětšuje.

V našem případě je počáteční výchylka $\varphi = 30^\circ$, přesto rozdíl mezi výrazem $1 - \cos \varphi = 0,134$ a výrazem $\frac{1}{2} \varphi^2 = 0,137$ je menší než 1% a pro naše potřeby lze aproximované výrazy používat bez větších omezení.

Pro maximální rychlost pohybu hmotného bodu (též označovanou jako amplitudu rychlosti) můžeme psát

$$v_m = \omega \cdot x_m , \quad (5.101)$$

kde ω je úhlová frekvence kyvadla a x_m je vodorovná vzdálenost rovnovážné polohy kyvadla od krajní polohy. Uvedenou rovnost lze získat z rovnic pro okamžitou výchylku a okamžitou rychlost.

Poznámka 11

Zde je vhodné připomenout rozdíl mezi úhlovou rychlostí kyvadla a úhlovou frekvencí kyvadla. Úhlová rychlost těžiště kyvadla není během kyvu konstantní, neboť

v krajních polohách je nulová a v rovnovážné poloze je největší. Úhlová frekvence je konstantní, protože nepopisuje pohyb těžiště na zavěšeném kyvadle, ale popisuje pohyb průmětu polohy těžiště kyvadla do vodorovné roviny. Tento průmět si lze také představit tak, že se jedná o pohyb těžiště po kružnici s poloměrem x_m a s konstantní úhlovou frekvencí ω .

Pro vzdálenost x_m platí

$$x_m = l \cdot \sin \varphi \approx l \cdot \varphi . \quad (5.102)$$

Dosazením vztahů 5.99, 5.101 a 5.102 do rovnice 5.98 dostaneme rovnici

$$mg \cdot \frac{1}{2} l \varphi^2 = \frac{1}{2} m \cdot \omega^2 \cdot l^2 \varphi^2 . \quad (5.103)$$

Její úpravou pak výsledný vztah

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} . \quad (5.104)$$

Výpočty – fyzické kyvadlo

V případě fyzického kyvadla zákon zachování mechanické energie bude mít tvar

$$mgh = \frac{1}{2} (J_0 + ml^2) \left(\frac{v_m}{l} \right)^2 , \quad (5.105)$$

kde J_0 je moment setrvačnosti fyzického kyvadla vůči ose procházející těžištěm.

Dosazením vztahů 5.99, 5.101 a 5.102 do rovnice 5.105 dostaneme rovnici

$$mg \cdot \frac{1}{2} l \varphi^2 = \frac{1}{2} (J_0 + ml^2) \cdot \omega^2 \cdot \varphi^2 . \quad (5.106)$$

Po úpravě úhlovou rychlost vyjádříme ve tvaru

$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{J_0 + ml^2}} . \quad (5.107)$$

V rovnici 5.107 se zlomek

$$\frac{J_0 + ml^2}{ml} = l_{\text{red}} \quad (5.108)$$

často označuje jako redukovaná délka l_{red} .

Po dosazení hodnot, odhadnutých z ukázky, do výsledného vztahu 5.104 vyjde délka kyvadla $l = 2,9$ m, stejně tak dosazením hodnot do vztahu 5.107 vychází redukovaná délka $l_{\text{red}} = 2,9$ m.

Diskuse řešení

V případech, kde je možné zanedbat moment setrvačnosti kolem osy procházející těžištěm, lze bez problémů použít vztah 5.104. Moment setrvačnosti J_0 se často zanedbává v případech, ve kterých je hmotnost provázku nebo nitě v porovnání s hmotností samotného kyvadla zanedbatelná nebo velikost kyvadla je malá.

V případech, kdy nelze zanedbat moment setrvačnosti kyvadla, je nutné použít vztah 5.107.

Je zajímavé řešit problém kyvadel v různých nadmořských výškách, neboť v těchto případech se bude nepatrně měnit tíhové zrychlení a doba kyvu bude vycházet nepatrně odlišně. V případech kyvadel na jiných planetách je rozdíl podstatnější.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze O.

Na snímcích 2 až 4 je popis toho, co se bude v prezentaci řešit. Na snímku 5 je ukázka z filmu „MacGyver“ [105]. Na snímcích 6 a 7 je odhad veličin získaných z ukázky rozbořem jednotlivých snímků a jejich časových značek.

Na snímcích 8 až 12 je uvedeno několik vztahů platných pro kyvadla. Je zde popsáno, že vycházíme ze zákona zachování energie. Za zmínku stojí snímek 12, na němž je ukázka aproximací pro malé úhly. Lektor by určitě měl zmínit, že aproximace se využívají v případech, kdy rozdíl aproximované hodnoty od skutečné je menší než 10 %.

Na snímcích 13 až 15 je odvození úhlové rychlosti matematického kyvadla. Na snímcích 16 a 17 je pak proveden výpočet délky matematického kyvadla.

Vztahy platné pro fyzikální kyvadlo jsou na snímcích 18 a 19. Na snímku 20 je poznámka o zavedení redukované délky. Na snímku 21 je vypočítána redukovaná délka.

Na snímcích 22 až 24 je závěr výpočtů.

Snímek 25 obsahuje video natočené na mezinárodní vesmírné stanici, na němž je zachycen pohyb pružinového oscilátoru ve stavu beztíže.

Snímek 26 obsahuje simulaci spřažených kyvadel.

Na snímcích 27 a 28 je krátké poučení o praktickém využití kyvadel.

Poučení

Ze vztahu pro matematické kyvadlo je možné experimentálně změřit tíhové zrychlení. V případě, že známe gravitační konstantu, lze následně odhadnout z Newtonova gravitačního zákona hmotnost Země.

5.5 Astrofyzika

5.5.1 Slunce a hvězdy – planeta v binárním hvězdném systému

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Cílem ukázky je zkusit odhadnout, jak by vypadal život na planetě v binárním hvězdném systému. Do prezentace je vložena teorie zabývající se popisem magnitudy a rozdělení hvězd do spektrálních tříd.

Student by měl být schopen užít Newtonova zákona a intenzity gravitačního pole pro odhad přílivu a odlivu. Ze Stefanova–Boltzmannova zákona by pak měl být schopen odhadnout dopadající energii od jednotlivých hvězd. Měl by se také orientovat v užití Keplerových zákonů. Student se bude orientovat v dělení hvězd do spektrálních tříd a porozumí pojmu magnituda.

Prezentace se hodí do seminářů fyziky na středních školách či na vysokých školách. Je možné ji použít i jako motivační ukázkou v hodinách astronomie na středních školách. Výpočty a předpoklady se však pro klasickou výuku nehodí.

Prezentace je delší, neboť obsahuje mnoho různých výpočtů a teorii. Časová náročnost je asi 45 minut.

Uvedení do situace

V knize „Helikonie – Léto“ [106] je velmi pěkně vyobrazen svět pojmenovaný Helikonie (což je obydlená planeta) v binárním systému hvězd Batalix a Freyr. Od Země je vzdálená tisíc světelných let. Její význam spočívá v podobnosti vývoje života na Zemi, proto kolem Helikonie obíhá výzkumná stanice Avernus, která sleduje děj na povrchu a nepřetržitě vysílá zaznamenané údaje na Zemi.

Bližší hvězda se jmenuje Batalix a je velmi podobná Slunci, vzdálenější a hmotnější hvězda se jmenuje Freyr. Autor uvádí, že Batalix byl gravitací Freyru zachycen a proto se hvězda Batalix s Helikonii pohybují po velmi výstředné eliptické dráze kolem Freyru.

Počasí na Helikonii je ovlivňováno vzdáleností obou hvězd od planety. Pravidelně se tak střídají období nízkých a vysokých teplot. Celá trilogie knih pak popisuje jednotlivé strategie přežití obyvatel Helikonie během těchto období.

Pro Helikonii je specifické, že má dva cykly, takzvaný „malý rok“ a „velký rok“. Malý rok je dán oběhem Helikonie kolem bližší hvězdy Batalixu. Velký rok je dán oběhem Batalixu a Helikonie kolem vzdálenějšího Freyru. Během velkého roku se postupně střídají malé roky, jak obíhá Helikonie kolem Batalixu. Je zajímavé, že autor v knize popisuje střídání přílivů a odlivů. Ty vznikají podle autora tím, jak na Helikonii působí slapové síly obou hvězd. (Na Zemi příliv a odliv způsobuje slapovými silami Měsíc a nepatrně Slunce.)

V případě, že se Helikonie nachází mezi Batalixem a Freyrem (Batalix je v opozici vůči Freyru), působí obě hvězdy svými intenzitami gravitačního pole na Helikonii v opačných směrech a výsledná intenzita je rozdílem obou intenzit hvězd. Jsou-li z pohledu Helikonie obě hvězdy v konjunkci, pak se gravitační intenzity obou hvězd sčítají.

Samozřejmě během velkého roku se také budou velikosti přílivu a odlivu měnit v závislosti na vzdálenosti Freyru. Slapové jevy budou největší v „perifreyru“

(periastron, což je v „létě velkého roku“), a to jak v poloze Helikonie mezi oběma hvězdami (na obloze je jen jedno slunce, Batalix je v opozici vůči Freyru), tak v poloze za oběma hvězdami (na obloze převrácené strany jsou obě slunce, Batalix a Freyr jsou v konjunkci). Vzhledem k velké vzdálenosti od Freyru však rozdíl slapových sil v „perifreyru“ (periastron) a v „afreyru“ (apoastron) nebude nijak výrazný.

Ukázka

ALDISS, Brian W. *Helikonie – Léto* [106]
přeložila Hana Březáková

« Bližší slunce, Batalix, bylo ztracené za planetou, ve vzdálenosti pouhých 1,26 astronomických jednotek.

Freyr, viditelný za nepropustným sklem jako šedá koule, jasně zářil ve vzdálenosti 240 astronomických jednotek. Jakmile od něj bude Helikonie vzdálená 236 jednotek, dosáhne perihelia, místa Freyru nejbližšího; ten čas je vzdálen pouhých sto osmnáct pozemských let. Pak budou Batalix a jeho planety opět unášeny po svých oběžných drahách pryč a k dominantnímu členu systému se přiblíží za dalších 2 592 pozemských let.

...

Billy věděl, že planeta perihelium přežije, že teploty na rovníku se vyšplhají na padesát sedm stupňů, ale nic horšího; Helikonie má jedinečný systém homeostáze, přinejmenším tak vlivný, jako má Země, systém, který dokáže zachovat tak pevný stav rovnováhy, jak jen to bude možné.

...

Navzdory nepřítomnosti měsíce byl na Helikonii příliv. S přibližováním Freyru vodní obal planety prožíval vzestup v přílivové síle o zhruba šedesát procent nad normální poměry v apoastronu, kdy Freyr byl přes sedm set astronomických jednotek vzdálený. »

Předpoklady a strategie řešení

Z této ukázky můžeme zkusit odhadnout některé parametry Helikonie, například tíhové zrychlení na povrchu a hmotnost.

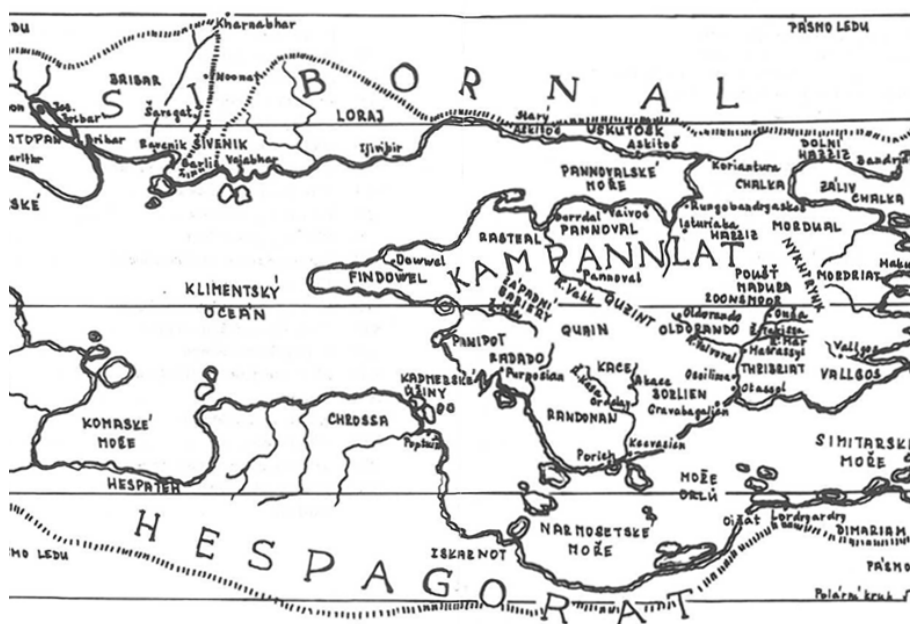
Dále můžeme určit hmotnost Batalixu a určit barvu Batalixu a Freyru. Jistě si zaslouží prověřit i udávané vztahy zářivosti.

Můžeme také porovnat údaje o velikostech hvězd pozorovaných z povrchu Helikonie. V ukázce sice údaje nejsou, ale v knize se píše, že v okamžiku, kdy je Helikonie od Freyru $236\times$ dále než od Batalixu, je úhlový průměr Freyru třetinový oproti úhlovému průměru Batalixu.

Nakonec zkusme odhadnout, zda se velikosti přílivu v periastronu a apoastronu shodují s udávanými hodnotami.

Hvězdu Batalix budeme považovat za velmi podobnou Slunci, proto její poloměr odhadneme na $R_B = 0,7 \cdot 10^9$ m. Dále můžeme předpokládat, že Helikonie se kolem Batalixu pohybuje prakticky po kružnici (stejně jako Země).

HELIKONIE



Obrázek 5.15: Mapa Helikonie

Získaná data

Z ukázky a především z knihy se dají zjistit některé parametry.

Freyr je hvězda spektrální třídy A s povrchovou teplotou $T_F = 11\,200$ K. Hmotnost Freyru je $M_F = 14,8 \cdot M_\odot = 29,6 \cdot 10^{30}$ kg, kde $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ kg je hmotnost Slunce. Hvězdný poloměr je údajně $70\times$ větší než Batalixu a zářivost o 30% větší, proto poloměr Freyru můžeme odhadnout na $R_F = 5 \cdot 10^{10}$ m, budeme-li předpokládat, že Batalix je velikostí srovnatelný se Sluncem, jehož poloměr je $R_F = 7 \cdot 10^8$ m.

Batalix je hvězda spektrální třídy G4, s povrchovou teplotou $T_B = 5\,600$ K. Kolem Freyru oběhne za $T_{pB} = 2\,592$ let. V periastronu Freyru se Batalix nachází ve vzdálenosti $r_{Bp} = 236$ AU = $3,54 \cdot 10^{13}$ m a v apoastronu $r_{Ba} = 700$ AU = $10,5 \cdot 10^{13}$ m. Poloměr Batalixu je $R_B = 0,7 \cdot 10^9$ m.

Helikonie má poloměr $R_H = 7\,723$ km a kolem Batalixu obíhá s periodou $T_{pH} = 480$ dne = $41,472 \cdot 10^6$ s. Sklon rotační osy vůči ekliptice je 35° . Vzdálenost Helikonie a Batalixu je přibližně $r_H = 1,26$ AU = $1,89 \cdot 10^{11}$ m.

V okamžiku, kdy je Helikonie od Freyru $236\times$ dále než od Batalixu, je úhlový průměr Freyru třetinový oproti úhlovému průměru Batalixu.

Příliv v periastronu Freyru je o 60% větší než v apoastronu.

Výzkumná stanice Avernus se pohybuje ve výšce $r_A = 1\,500$ km nad povrchem Helikonie, hmotnost stanice je $m_A = 18 \cdot 10^9$ kg, průměr $R_A = 1\,000$ m a perioda oběhu kolem Helikonie $T_{pA} = 7\,770$ s.

Jednotku 1 AU = $150 \cdot 10^9$ m vezmeme z [76]. Stejně tak hmotnost pozemského Slunce $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ kg.

Výpočty

Jestliže méně hmotné těleso obíhá kolem hmotnějšího tělesa po kružnici, pak je dostředivá síla rovna gravitační síle. V okamžiku kdy tato rovnost neplatí, bude méně hmotné těleso padat k hmotnějšímu nebo se od hmotnějšího tělesa bude vzdalovat. V obou případech záleží na směru a velikosti rychlosti obou těles.

Pro rovnost dostáváme tvar

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r = \varkappa \frac{M}{r^2}, \quad (5.109)$$

kde T je perioda obíhajícího tělesa, r je vzdálenost těles, M je hmotnost hmotnějšího tělesa a $\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační konstanta. V tomto vztahu předpokládáme, že obíhající těleso se pohybuje po kružnici a těžší těleso o hmotnosti M je v klidu. Budeme-li uvažovat eliptickou dráhu, pak bychom místo r měli psát spíše a , což je běžné označení délky hlavní poloosy eliptické trajektorie obíhajícího tělesa.

Poznámka 12

Rovnice 5.109 vyjadřuje třetí Keplerův zákon.

Dosazením údajů stanice Avernus a Helikonie do rovnice 5.109 můžeme odhadnout hmotnost planety Helikonie. Helikonie bude mít přibližně hmotnost $M_H \doteq 7,7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Spočítáme-li intenzitu gravitačního pole na povrchu Helikonie podle vztahu

$$K = \varkappa \frac{M_H}{R_H^2}, \quad (5.110)$$

kde $\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační konstanta, $M_H = 7,7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ je hmotnost Helikonie a $R_H = 7723 \text{ km}$ je její poloměr, dostaneme hodnotu $K = 8,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. (Za předpokladu, že den na Helikonii je stejně dlouhý jako na Zemi, by odstředivé zrychlení bylo $0,04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.) Po zanedbání lze říci, že tíhové zrychlení na Helikonii je prakticky stejné jako gravitační zrychlení na povrchu a je o málo menší než na povrchu Země.

Jestliže dosadíme do rovnice 5.109 údaj o periodě Helikonie a o její vzdálenosti od Batalixu, můžeme odhadnout hmotnost Batalixu. Po dosazení hmotnost Batalixu vychází přibližně $M_B = 2,3 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Dosazením hmotnosti Freyru a doby oběhu Batalixu kolem Freyru do 5.109 dostáváme pro poloměr kruhové dráhy Batalixu hodnotu $r_{BF} = 6,9 \cdot 10^{13} \text{ m} \doteq 463 \text{ AU}$. Tato hodnota je mezi periastronem a apoastronem Freyru, což je vpořádku.

Nyní se pusťme do prověření barev jednotlivých hvězd a jejich intenzit, tak jak by je vnímal pozorovatel na povrchu Helikonie.

Dosazením povrchových teplot do Wienova posunovacího zákona můžeme odhadnout, jak jsou jednotlivé hvězdy zbarvené a v jakém spektru září. Wienův posunovací zákon je sice odvozen pro záření absolutně černého tělesa, ale pro odhad zbarvení Batalixu a Freyru nám tento vztah postačí. Wienův posunovací zákon má tvar

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (5.111)$$

kde $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ je Wienova konstanta a T je termodynamická teplota absolutně černého tělesa.

Po dosazení hodnot vychází maximální vlnová délka Batalixu 517 nm a hodnota pro Freyr je 259 nm. Pro srovnání vlnová délka Slunce o povrchové teplotě $T_S = 5\,780\text{ K}$ je 501 nm. Jak je z výsledku vidět, Batalix by měl prakticky stejnou barvu jako Slunce. Freyr by nejvíce zářil v ultrafialovém spektru UVC, jeho barvu by lidské oko vnímalo pravděpodobně jako modrou. (Je zajímavé, že některé ryby, ještěři a ptáci vnímají okem i fialovou barvu o vlnové délce asi 370 nm, ti by pak Freyr vnímali zabarvený do fialova).

Nyní spočítejme hustotu zářivého toku podle Stefanova–Boltzmannova zákona,

$$L = \sigma \cdot T^4, \quad (5.112)$$

kde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ je Stefanova–Boltzmannova konstanta a T je termodynamická povrchová teplota vyzařujícího objektu.

Tato hustota je vztažena na těleso o povrchu 1 m^2 . Nejdříve musíme vypočítat intenzitu na povrchu celého tělesa a následně musíme přepočítat na povrch sféry v místě měření. Z tohoto plyne, že intenzita klesá se čtvercem vzdálenosti.

Upravený Stefanův–Boltzmannův zákon bude mít tvar

$$L = \sigma \cdot T^4 \cdot \frac{4\pi \cdot R_h^2}{4\pi \cdot r_h^2}, \quad (5.113)$$

kde R_h je poloměr hvězdy a r_h je vzdálenost hvězdy od místa měření hustoty zářivého toku. Veličina j se v astronomii také označuje jako bolometrická jasnost.

Dosadíme-li do rovnice 5.113 údaje pro Freyr a Batalix, pak dostáváme hustotu zářivého toku Batalixu v místě Helikonie $L_B = 765 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Hustota zářivého toku Freyru je pro střední vzdálenost této hvězdy od Helikonie $L_F \doteq 450 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Hodnota hustoty zářivého toku Freyru na Helikonii pro periastron je přibližně $1\,780 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a pro apoastron přibližně $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Pro srovnání můžeme vypočítat hustotu zářivého toku Slunce $L_\odot = 1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Odtud je již celkem jasné, že je-li Batalix v apoastonu vůči Freyru, pak na Helikonii bude dopadat mnohem méně slunečního záření od obou hvězd než na Zemi od Slunce. V periastronu Batalixu bude naopak na Helikonii dopadat mnohem více slunečního záření obou hvězd než na Zemi od Slunce.

Další, co můžeme prověřit, je, zda při $236\times$ větší vzdálenosti Freyru od Batalixu bude platit, že skutečný hvězdný průměr Freyru je asi $70\times$ větší než skutečný hvězdný průměr Batalixu.

Při výše udané vzdálenosti má být Batalix z Helikonie pozorován pod úhlovým průměrem $3\times$ větším než Freyr. Tento poměr můžeme zapsat ve tvaru

$$\delta_B = 3 \cdot \delta_F, \quad (5.114)$$

kde δ_B udává pozorovaný úhlový průměr Batalixu a δ_F pozorovaný úhlový průměr Freyru z povrchu Helikonie.

Úhlový průměr pozorovaný ze vzdálenosti x se dá u sférického objektu s poloměrem R vypočítat ze vztahu

$$\delta = \frac{2R}{x}. \quad (5.115)$$

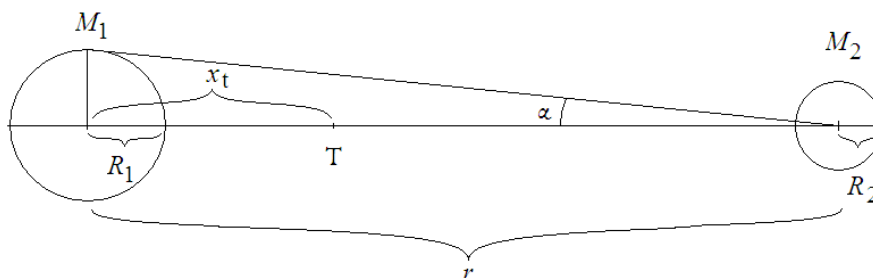
Po dosazení rovnice 5.115 do poměru úhlových velikostí jednotlivých hvězd (rovnice 5.114) dostáváme

$$\frac{2R_B}{x} = 3 \cdot \frac{2R_F}{236x}. \quad (5.116)$$

Po úpravě skutečně platí, že hvězdný průměr Freyru je asi $70\times$ větší než skutečný hvězdný průměr Batalixu. Poměr úhlových velikostí hvězd je

$$\frac{R_F}{R_B} = \frac{236}{3} \doteq 79 . \quad (5.117)$$

Jak je vidět i v tomto případě, autor knihy vycházel prakticky ze správných výpočtů. Lépe by však bylo, kdyby autor v knize uváděl, že Batalix je z Helikonie pozorován pod úhlovým průměrem $3,4\times$ větším než Freyr.



Obrázek 5.16 Dvě tělesa o hmotnostech M_1 a M_2 a poloměrech R_1 a R_2 ve vzdálenosti r . Těžiště soustavy je označeno T a x_t označuje vzdálenost těžiště soustavy od těžiště tělesa o hmotnosti M_1 .

Posledním, co zbývá ověřit, je velikost přílivu. Zde je potřeba rozlišovat hned několik rozličných situací. Za prvé lze uvažovat dvě tělesa obíhající kolem společného těžiště, která nemají vzájemně vázanou rotaci (případ Země a Slunce, částečně i Země a Měsíce). Za druhé můžeme uvažovat situaci, kdy dvě tělesa obíhají kolem společného těžiště a rotace obou těles je vzájemně vázaná (Pluto a Cháron). Posledním, třetím případem je popis slapových sil v případě volného pádu jednoho tělesa (méně hmotného) na druhé, hmotnější těleso. Je nepochybně zajímavé také uvažovat vlastní rotaci těles. Některá odvození lze najít například v „Rozhledy: matematicko-fyzikální“ [107]. V dalším textu se budeme zabývat především prvním případem, vlastní rotaci budeme zanedbávat.

Intenzitu slapové síly S mezi tělesy bez vzájemné vázané rotace ve vzájemné vzdálenosti r o hmotnostech M_1 a M_2 můžeme odvodit z rozdílu gravitačních intenzit tělesa o hmotnosti M_2 působících na povrch a střed tělesa o hmotnosti M_1 . Na povrchu tělesa M_1 budeme uvažovat to místo (na spojnici těžišť obou těles), které je nejbližší M_2 . Popsanou situaci ilustruje obrázek 5.16. Vztah pro výslednou změnu gravitační intenzity slapových sil bude

$$\Delta S = \varkappa \frac{M_2}{(r - R_1)^2} - \varkappa \frac{M_2}{r^2} = \varkappa M_2 \left(\frac{2 R_1 r (1 - \frac{1}{2} \frac{R_1}{r})}{r^4 (1 - 2 \frac{R_1}{r} + \frac{R_1^2}{r^2})} \right) , \quad (5.118)$$

kde $\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ je gravitační konstanta, r je vzdálenost mezi těžišti těles o hmotnostech M_1 a M_2 a R_1 je poloměr tělesa o hmotnosti M_1 .

Protože vzdálenost mezi tělesy je vždy podstatně větší než poloměry těles, můžeme uvažovat, že $r \gg R_1$. Po úpravě a zanedbání malých členů můžeme psát

$$\Delta S \doteq \frac{2\varkappa M_2 \cdot R_1}{r^3} . \quad (5.119)$$

Kvantitativně stejný výsledek získáme pro změnu intenzity slapových sil i v případě, kdy jedno těleso padá na druhé.

Poznámka 13

Za zmínku stojí, že druhý člen $\varkappa \frac{M_2}{r^2}$ v rovnici 5.118 lze považovat za intenzitu gravitačního pole tělesa M_2 ve středu tělesa M_1 , nebo za odstředivé zrychlení dané pohybem obou těles kolem společného těžiště. Vzdálenost těžiště soustavy dvou těles o hmotnostech M_1 a M_2 počítané od těžiště tělesa o hmotnosti M_1 je

$$x_t = \frac{r \cdot M_2}{M_1 + M_2} . \quad (5.120)$$

Úhlová rychlost pohybu těžiště tělesa o hmotnosti M_1 kolem společného těžiště obou těles je

$$\omega = \sqrt{\frac{\varkappa(M_1 + M_2)}{r^3}} . \quad (5.121)$$

Odstředivé zrychlení je pak dáno vztahem

$$a_o = \omega^2 \cdot x_t = \frac{\varkappa(M_1 + M_2)}{r^3} \cdot \frac{r \cdot M_2}{M_1 + M_2} = \varkappa \frac{M_2}{r^2} , \quad (5.122)$$

což odpovídá druhému členu v rovnici 5.118.

Porovnáním intenzity slapových sil na povrchu Helikonie od Batalixu a Freyru ihned zjistíme, že vliv Freyru nemůže být velký. Freyr je řádově $100 \times$ dále a pouze $10 \times$ hmotnější než Batalix. Intenzita slapových sil Batalixu bude řádově $100\,000 \times$ větší než Freyru.

Konkrétně můžeme dosazením do rovnice 5.119 spočítat případ, kdy Batalix bude v periastronu Freyru (nejblíže) a zároveň Batalix a Freyr budou v konjunkci z pohledu Helikonie (na obloze budou vidět obě hvězdy). Na povrchu Helikonie bude působit intenzita slapových od Freyru o velikosti

$$\Delta S_{Fp} = \frac{2\varkappa M_F \cdot R_H}{(r_H + r_{Bp})^3} \doteq 6,7 \cdot 10^{-13} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5.123)$$

a intenzita slapových sil od Batalixu bude

$$\Delta S_B = \frac{2\varkappa M_B \cdot R_H}{r_H^3} \doteq 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} . \quad (5.124)$$

V uvedených vztazích 5.123 a 5.124 označuje $M_F = 29,6 \cdot 10^{30}$ kg hmotnost Freyru, $r_{Bp} = 3,54 \cdot 10^{13}$ m vzdálenost Freyru a Batalixu v periastronu, dále $M_B = 2,3 \cdot 10^{30}$ kg je hmotnost Batalixu, $r_H = 1,89 \cdot 10^{11}$ m je vzdálenost Helikonie a Batalixu a $R_H = 7,7 \cdot 10^6$ m je poloměr Helikonie. Hmotnost Helikonie $M_H = 7,7 \cdot 10^{24}$ kg lze zanedbat, neboť je oproti hvězdám milionkrát menší. Gravitační konstanta je $\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

Jak je vidět z výsledků 5.123 a 5.124, Freyr na velikost intenzity slapových sil nemá prakticky žádný vliv. Zde autor velikost přílivu a odlivu značně přecenil.

Výšku přílivu na volném moři lze odhadnout z potřebné změny intenzity gravitačního pole. Budeme-li předpokládat, že změna intenzity gravitačního pole není vyvolána

slapovou silou, ale změnou vzdálenosti vodní hladiny od těžiště Helikonie, pak pro výšku přílivu h bude platit

$$h = R_H \left(\sqrt{\frac{\varkappa M_H}{\varkappa M_H - \Delta S R_H^2} - 1} \right). \quad (5.125)$$

V případě Freyru v periastronu se bude jednat o příliv s výškou $h_{\text{FP}} = 0,3 \mu\text{m}$ a v případě Batalixu o příliv s výškou $h_{\text{B}} = 15,5 \text{ cm}$.

Diskuse řešení

Z uvedených hodnot je vidět, že Helikonie je velmi podobná Zemi jak svojí hmotností $M_H \doteq 7,7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, tak tíhovým zrychlením na povrchu $K \doteq 8,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Stejně tak lze říci, že Batalix má velmi podobnou hmotnost $M_B = 2,3 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ jako Slunce.

Z hodnot pro vlnové délky, na kterých nejvíce září hvězdy Batalix (517 nm) a Freyr (259 nm), můžeme určit, že Batalix září stejně jako Slunce, a to žlutozeleně, Freyr září v ultrafialovém spektru. Pozorovatelům na povrchu Helikonie by se Freyr měl jevit modře (možná i trochu fialově) zabarvený.

S těmito vlnovými délkami je spojen ještě jeden fakt: za osm milionů let (které autor v trilogii uvádí) by se měli živočichové adaptovat tak, že by měli být schopni vidět i v ultrafialovém oboru spektra. Další jejich adaptací by měla být tmavá barva pokožky, kterou autor v knihách skutečně popisuje.

Pro velikosti hvězd jsme zjistili, že je-li Batalix velikostí podobný našemu Slunci, pak velikost Freyru musí být přibližně $79\times$ větší než Batalixu.

Je celkem hezky vidět, že Batalix září méně než Slunce, a proto může být větší část povrchu Helikonie během celého malého roku pod sněhem. Přidáme-li však k těmto hodnotám intenzitu záření Freyru, dostáváme v apoastronu hodnoty intenzity zhruba srovnatelné s hodnotou intenzity záření na Zemi při jarní rovnodennosti na 50° severní či jižní šířky. V periastronu se hodnota intenzity záření zvětší až dvojnásobně oproti Zemi. To znamená, že polární čepičky by měly během velkého helikonského léta prakticky celé roztát. Autor však bohužel nic takového nepopisuje.

Vliv Freyru na příliv v apoastronu a periastronu je zcela zanedbatelný. Mnohem větší vliv bude mít hvězda Batalix. Velikost přílivu a odlivu vychází velmi obdobně jako na Zemi, řádově se jedná o desítky centimetrů. Na Helikonii pak bude příliv a odliv dvakrát za jeden helikonský den.

Poznámka 14

Pohyby planety a obou hvězd je možné si vizualizovat v appletu který byl vytvořen na Univerzitě v Coloradu [108]. V tabulce 5.8 jsou uvedeny použitelné pro simulaci. Hodnoty jsou pouze odhadnuty, a proto nekorespondují s uvedenou ukázkou. Applet totiž neumožňuje přiblížení či oddálení scény.

Simulace může posloužit studentům jako vizualizace ukázky nebo jako možnost ověření, zda je systém dvou hvězd a planety stabilní za podmínek uvedených v knize.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze P.

Tabulka 5.8 *Hodnoty podobné Helikonii, Batalixu a Freyru použitelné pro applet vytvořený na Univerzitě v Coloradu [108]*

těleso	hmotnost	Poloha x	Poloha y	rychlost x	rychlost y
těleso 1	2 960	-100	0	0	0
těleso 2	230	150	0	0	300
těleso 3	0,00077	180	0	0	36

Snímky 2 až 5 obsahují souhrn toho, co se v prezentaci bude řešit. Některé části prezentace je možné vynechat.

Na snímku 6 a 7 je ukázka z knihy.

Snímky 8 a 9 obsahují diskusi týkající se popisu některých zanedbání a zjednodušujících předpokladů.

Na snímcích 10 až 14 je teorie popisující význam magnitudy. Výpočty v prezentaci se tímto nezabývají, a proto je možné tuto část přeskočit. Na snímku 11 je uvedena Pogsonova rovnice popisující vztah mezi relativní magnitudou dvou hvězd a jejich hustotou světelného toku. Zde je vhodné studentům připomenout definici hustoty světelného toku (v prezentaci uvedena není). Na snímku 14 je uveden vztah mezi relativní a absolutní magnitudou hvězdy.

Snímek 15 popisuje dělení jednotlivých hvězd do spektrálních tříd. Snímky 16 až 22 obsahují popis jednotlivých tříd a vlastnosti hvězd dané třídy.

Na snímcích 23 až 26 jsou shrnuta data z knihy. Snímek 23 obsahuje vlastnosti hvězdy Freyr, snímek 24 popisuje hvězdu Batalix, snímek 25 Helikonii a snímek 26 uvádí údaje o výzkumné stanici Avernus, která obíhá Helikonii. V ukázce o této stanici není zmínka, ale pasáž popisující Billyho úvahu je převzata z popisu Avernu.

Na snímcích 27 až 33 je proveden výpočet hmotnosti Helikonie a hvězdy Batalixu. Ani jeden údaj není v knize uveden, lze je však jednoduše dopočítat. Na snímku 29 a 33 je možné nechat studenty dosadit do uvedených rovnic a údaje samostatně dopočítat. Zde je vhodné studenty upozornit na nutné převody fyzikálních jednotek.

Na snímcích 34 až 36 je proveden výpočet střední vzdálenosti mezi Freyrem a Batalixem. Na snímku 35 je opět možné nechat studenty provést samostatný výpočet.

Na snímcích 37 až 39 je uveden applet, který byl vytvořen na Univerzitě v Coloradu [108]. Na tomto appletu je možné si vizualizovat trajektorie několika těles. V tabulce na snímku 37 jsou uvedeny hodnoty použitelné pro simulaci. Hodnoty jsou pouze odhadnuty, a proto vzdálenosti a rychlosti objektů neodpovídají uvedené ukázce. Odpovídající jsou pouze poměry mezi hmotnostmi jednotlivých objektů. Applet bohužel neumožňuje přiblížení a oddálení. Snímek 37 obsahuje URL adresu na daný applet. (Při kliknutí na první řádek adresy se otevře odkaz z internetu, při kliknutí na druhý řádek se otevře lokální applet stažený z uvedených stránek. Tato varianta je uvedena pro případ špatného připojení na internet.) Na skrytém snímku 38 je vložen celý applet, bohužel se na většině testovaných počítačů nespustí správně. Na snímku 39 je obrázek znázorňující trajektorie Freyru, Batalixu a Helikonie. Zde je vhodné, aby si žáci sami zkusili měnit parametry rychlostí těles a zjistili tak experimentálně, zda a za jakých parametrů je systém stabilní.

Na snímcích 40 až 43 je proveden výpočet maxima vlnové délky záření absolutně černého tělesa. Z těchto výpočtů je možné odhadnout zabarvení jednotlivých hvězd. Na snímku 42 je možné na spektru viditelného spektra určit jednotlivé barvy. Reálná barva

však závisí na dalších vlivech (hvězdy nezáří jako absolutně černá tělesa, atmosféra pohlcuje některé vlnové délky). To je důležité studentům připomenout. Na snímku 43 je fotomontáž zobrazující obě hvězdy a planetu pozorované z orbitální stanice.

Na snímcích 44 až 48 je proveden výpočet hustoty zářivého toku obou hvězd. Na snímcích 45 a 47 je opět možné nechat studenty samostatně vypočítat hustoty zářivých toků. Na snímcích 49 až 51 je shrnutí zářivých toků v periastronu a apoastronu obou hvězd na Helikonii. Pro porovnání je zde uveden i zářivý tok Slunce na Zemi.

Na snímcích 52 až 57 je odhad slapových sil působících na Helikonii v periastronu a apoastronu. Zde je vhodné zmínit, že i Slunce na Zemi působí slapovými silami. Ty jsou však velmi malé, vzedmutí oceánů se vlivem Slunce odhaduje řádově na centimetry.

Na snímcích 58 až 64 je pak souhrn všech předchozích výpočtů a jejich možné důsledky.

Na snímku 65 je krátké poučení o nutnosti dbát fyzikálních zákonů při psaní sci-fi příběhů. Je totiž možné napsat i velmi pěkný příběh, aniž by bylo nutné je porušovat.

Poučení

Při psaní sci-fi literatury je nutné často kontrolovat příběh s výpočty. V případě Briana W. Aldisse je příjemné zjištění, že sám autor založil příběh trilogie na astronomických faktech a držel se pečlivě fyzikálních zákonů.

5.5.2 Druhy hvězd a gravitační intenzita – gravitační síla v blízkosti hmotných objektů

Cíle, kompetence a zařazení do výuky

Cílem prezentace je popsat závěrečná stádia hvězd a na základě ukázky z knihy zkusit vypočítat gravitační intenzitu v blízkosti neutronové hvězdy a malé černé díry. Dále jsou v prezentaci řešeny kvantově mechanické efekty. Ukázka je vhodná do kurzů astronomie na středních školách či jako motivace do výuky Newtonova gravitačního zákona v rozšiřujících kurzech fyziky.

Student by měl umět aplikovat Newtonův gravitační zákon na různé objekty. Měl by porozumět omezením Newtonova gravitačního zákona na velmi hmotných objektech. Měl by též rozlišovat různá závěrečná stádia hvězd. Uvedených zdatností je dosaženo užitím ukázky (klasická výuková metoda názorně demonstrační), dále pak aktivizující metodou situační a přednáškou (klasická výuková metoda).

Prezentace je delší, asi 45 minut, protože jsou do prezentace vloženy snímky popisující jednotlivá závěrečná stádia hvězd ve formě přednášky a na konci jsou dvě delší videa popisující pád do černé díry. V prezentaci je možné některé pasáže vypustit a tak přizpůsobit prezentaci zájmu studentů či potřebám výuky.

Uvedení do situace

Autor Robert L. Forward v knize „Dračí vejce“ popisuje vznik a vývoj hypotetického života na povrchu neutronové hvězdy, hvězda nese jméno *Dračí vejce*. Tvorové na této hvězdě si říkají čilové a jejich velikost je v řádech milimetrů. Vzhledem k tomu, že jejich těla jsou tvořena pouze jádry atomů s volně se pohybujícími elektrony (degenerovaný elektronový plyn), je jejich životní cyklus velmi rychlý a je uzpůsoben velké gravitační intenzitě na povrchu a rychlému otáčení neutronové hvězdy. Čilové svojí hmotností odpovídají lidem, velikostí a tvarem však drobným pozemským živočichům.

Příběh popisuje interakci rychle žijících čilů s lidmi ze Země a jejich jediný kontakt, ke kterému došlo.

Ukázka v prezentaci je zkrácena.

Ukázka

FORWARD, Robert L. *DRAČÍ VEJCE* [109]

« Nejprve byl vyslechnut příspěvek gravitačních inženýrů, kteří popisovali nejčerstvější výsledky testů s řízenou gravitací a inerčními pohonnými jednotkami. Inerční motory představovaly pohonný mechanismus umožňující dosáhnout únikové rychlosti rovnající se třiceti devíti procentům rychlosti světla a opustit tak sféru přitažlivosti neutronové hvězdy. Nicméně nejnebezpečnější částí cestování do vesmíru zůstával i nadále problém explozivní dekomprese neutronové hmoty (tedy i hmoty cestovatele!) poté, co přestane být stlačována gravitačním působením hvězdy. I tento problém se však již inženýrům podařilo vyřešit.

...

„Výprava bude zahájena zhruba za patnáct minut. Prostudujte si pokyny co nejpečlivěji, neboť celá návštěva bude trvat pouze deset sekund.“

...

Aby mohli přežít ve volném vesmíru, museli si čílové s sebou přivést svou vlastní gravitaci. Jejich hlavní loď byla vlastně tvrdá krystalická koule o průměru přibližně čtyř centimetrů, obsahující ve svém nitru poměrně „velkou“ černou díru. Svou hmotností 11 miliard tun vytvářela na povrchu krystalové lodě gravitační pole 180 000 g. Přestože se tato hodnota ani zdaleka neblížila 67 miliardám g, ve kterých žili čílové na povrchu hvězdy, byla plně dostačující na to, aby uchovala hmotu jejich těl v degenerované podobě. Pomocné moduly představovaly jakési zmenšené verze hlavní lodi. Rozměry těchto jednoposádkových strojů a nákladových tahačů už nebyly tak velké, takže do každého stačilo umístit mnohem menší černou díru. »

Další vývoj ukázky

Vzhledem k tomu, že čílové se vyvíjejí mnohonásobně rychleji než lidé, v závěru knihy nakonec technologicky předčí lidskou rasu.

Předpoklady a strategie řešení

Předpokládejme, že neutronová hvězda může mít hmotnost M jen v intervalu $M \in (1,4 M_{\odot} ; 3 M_{\odot})$. Tento odhad byl převzat ze skript „Základy fyziky hvězd“ [110]. Běžně se spodní odhad hmotnosti neutronové hvězdy označuje jako *Chandrasekharova mez* ($1,4 M_{\odot}$). Tato mez udává krajní hmotnost, nad níž vzniká neutronová hvězda, a pod níž se hvězda nachází ve stavu pojmenovaném jako bílý trpaslík. Označení $M_{\odot} \doteq 2 \cdot 10^{30}$ kg udává hmotnost Slunce.

Z ukázky můžeme odhadnout gravitační intenzitu působící na povrchu neutronové hvězdy. V dalším textu bude intenzita gravitačního pole značena K . Rozměrově a významově lze říci, že intenzita gravitačního pole v daném místě na povrchu hvězdy odpovídá gravitačnímu zrychlení v tomto místě.

Dále bude zajímavé odhadnout, jaká nejmenší možná intenzita gravitačního pole by měla působit na číly, aby neexplodovali ve volném vesmíru a jejich těla nadále setrvala ve stavu popisovaném jako degenerovaný elektronový plyn. Z této látky se skládá hvězda označovaná jako bílý trpaslík nebo neutronová hvězda.

Poznámka 15

Tlak látky, ze které je tvořena centrální část neutronové hvězdy, je tak veliký, že se zde nevyskytují volné elektrony. Všechny elektrony jsou zde vtlačeny do protonů, proto se v centrální části neutronové hvězdy nacházejí prakticky jen neutrony. Tento stav látky (označovaný jako neutronově degenerovaný stav) je stabilní jen ve velmi silném gravitačním poli, mimo toto pole je látka zcela nestabilní a neutrony se s polčasem rozpadu 1 000 s opět rozpadají na protony a elektrony a neutrina. Při tomto rozpadu se uvolní z jednoho neutronu energie $1,25 \cdot 10^{-13}$ J.

Protože čílové žijí na povrchu neutronové hvězdy, kde není tak velká intenzita gravitačního pole, tak jsou jejich těla tvořena jak protony, tak i neutrony a volnými elektrony. Intenzita gravitačního pole je zde však natolik velká, že atomy se k sobě přiblíží až se jejich elektronové obaly začnou pod tlakem zmenšovat. Dochází tak ke kompletní ionizaci materiálu tlakem. Všechny elektrony se postupně stanou volnými a jsou společné pro celý systém. O látce v tomto stavu říkáme, že se nachází v elektronově degenerovaném stavu.

Tato látka svými mechanickými, tepelnými a elektrickými vlastnostmi připomíná pozemské kovy, neboť se stává výborným vodičem tepla a elektřiny. Jsou zde jen dva „drobné“ rozdíly, bod tání elektronově degenerované látky je řádově 10^9 K a v kovech se volné elektrony pohybují daleko od jader v takzvaném vodivostním pásu, kdežto v elektronově degenerovaném plynu se pohybují mezi jádry.

Degenerovaný elektronový plyn je také velmi obtížně stlačitelný, neboť se začne uplatňovat kvantově mechanický efekt zvaný „Pauliho vylučovací princip“, který zakazuje dvěma různým fermionům v soustavě zaujmout tentýž kvantový stav. Tímto efektem se zamezí dalšímu přibližování elektronů k jádrům. Jestliže by se intenzita gravitačního pole dále zvyšovala, pak by došlo ke vtlačení elektronů do protonů a látka by se takzvaně neutronizovala. K tomuto jevu dochází v centrálních částech neutronových hvězd. (Pro číly by to znamenalo konec jejich existence.)

Získaná data

Povrchové zrychlení (gravitační intenzita) na neutronové hvězdě (Dračím vejci) je $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Poloměr hvězdy, dle údajů v technické části na konci knížky, je $R_{DV} = 10 \text{ km}$.

Hlavní loď čílů má hmotnost $m_L = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$, poloměr je 0,02 m a gravitační zrychlení na povrchu $K_L = 1,8 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Hmotnost jednoho číly je srovnatelná s hmotností člověka, autor udává průměrnou hmotnost $m_c = 70 \text{ kg}$. Hustota materiálu, ze kterého jsou tvořeni, je na povrchu neutronové hvězdy $\rho_c \doteq 7 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Velikost číly je řádově několik milimetrů.

Výpočty

Podle vztahu pro intenzitu gravitačního pole můžeme odhadnout hmotnost neutronové hvězdy z ukázky.

Vztah pro intenzitu gravitačního pole je

$$K = \varkappa \cdot \frac{M}{R^2}, \quad (5.126)$$

kde veličina K má rozměr zrychlení (často se také označuje jako gravitační zrychlení), hmotnost hvězdy je označena M a R je její poloměr, či vzdálenost, ve které měříme intenzitu gravitačního pole a $\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

Po dosazení $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ za K ve vzorci 5.126 vychází hmotnost neutronové hvězdy $M = 0,5 M_{\odot}$. Takto vypočtená hmotnost neutronové hvězdy je však příliš malá a nedosahuje Chandrasekharovy meze. Vypočtená hmotnost je nízká, protože jsme použili nevhodný vzorec, který nezohledňuje degeneraci látky na neutronový nebo elektronový plyn. Vztah pro správný výpočet hmotnosti neutronové hvězdy můžeme vypočítat ze vztahu vyjadřující největší možnou velikost neutronové hvězdy. Vztah má tvar

$$R_{NH} = \frac{3^{\frac{4}{3}} \hbar^2 \pi^{\frac{2}{3}}}{2^{\frac{4}{3}} \varkappa m_n^{\frac{8}{3}}} \cdot M^{-\frac{1}{3}}, \quad (5.127)$$

kde R_{NH} je poloměr neutronové hvězdy, $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je redukovaná Planckova konstanta ($\hbar = h/(2\pi)$, kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Plankova konstanta), \varkappa je gravitační konstanta, $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ je hmotnost neutronu a M je hmotnost hvězdy.

Vztah byl převzat z prezentace „Jaká je hmota uvnitř neutronových hvězd: aneb jak studujeme velmi hustou jadernou hmotu“ [111] od Vladimíra Wagnera.

Poznámka 16

Vzorců pro vztah mezi poloměrem a hmotností neutronové hvězdy lze na internetu dohledat více. Existují vztahy pro nerelativistické degenerované plyny i pro relativistické. Záleží také na složení neutronové hvězdy. Pravdou je, že neexistuje zatím žádná teorie, která by daný jev zcela vysvětlovala.

Po dosazení hodnot do 5.127 vychází hmotnost $M_{\text{DV}} = 1,86 M_{\odot} = 3,7 \cdot 10^{30}$ kg.

Nejmenší intenzitu gravitačního pole použitelnou v čílských dopravních prostředcích, nutnou pro vznik elektronově degenerovaného plynu, můžeme odhadnout z rovnosti energie gravitačního pole a energie elektronu v atomu vodíku (bude-li intenzita gravitačního pole větší, tak se elektron neudrží na orbitě a bude zatlačen mezi jádra atomů), příslušný vztah je

$$\varkappa \frac{m_e \cdot M_{\text{DV}}}{R_{\text{DV}}} = \frac{m_e \cdot e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2}, \quad (5.128)$$

kde \varkappa je gravitační konstanta, $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg je hmotnost elektronu, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C je elementární náboj, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F · m⁻¹ je permitivita vakua a h je Planckova konstanta.

Rozšířením pravé strany o R_{DV} a dosazením vztahu 5.126 dostáváme vzorec pro výpočet intenzity gravitačního pole ve tvaru

$$K = \frac{e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2 \cdot R_{\text{DV}}}. \quad (5.129)$$

Dosazením hodnot do rovnice 5.129 vychází odhad intenzity $K \doteq 239 \cdot 10^6$ m · s⁻². Při této hodnotě intenzity gravitačního pole by měla být látka schopná zůstat ve stavu degenerovaného elektronového plynu. Autor však uvádí potřebnou hodnotu intenzity minimálně 100× menší, což neodpovídá použité teorii.

Poznámka 17

Výpočet nejmenší možné intenzity gravitačního pole potřebné pro vytvoření elektronově degenerovaného plynu můžeme odvodit také ze vztahu pro poloměr bílého trpaslíka

$$R_{\text{BT}} = \frac{3^{\frac{4}{3}} \hbar^2 \pi^{\frac{2}{3}}}{8 \varkappa m_e \cdot m_n^{\frac{5}{3}}} \cdot M^{-\frac{1}{3}}, \quad (5.130)$$

kde R_{BT} je poloměr bílého trpaslíka, $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ J · s je redukovaná Planckova konstanta ($\hbar = h/(2\pi)$, kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J · s je Planckova konstanta), \varkappa je gravitační konstanta, $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg je hmotnost neutronu, $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg je hmotnost elektronu a M je hmotnost hvězdy. Vztah byl převzat z prezentace „Jaká je hmota uvnitř neutronových hvězd: aneb jak studujeme velmi hustou jadernou hmotu“ [111] od Vladimíra Wagnera.

Dosazením vztahu 5.130 do 5.126 vychází gravitační intenzita $K \doteq 7,4 \cdot 10^6$ m · s⁻². Za poloměr bílého trpaslíka je však nutno dosadit hodnotu 580× větší než je poloměr neutronové hvězdy R_{DV} (tento poměr získáme porovnáním vztahů 5.130 a 5.127).

Hodnota $K \doteq 7,4 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ sice odpovídá hodnotě uvedené v knize pro minimální hodnotu intenzity gravitačního pole, při které ještě budou moci čílové existovat ve stavu degenerovaného plynu, ale je nutné si uvědomit, že v bílém trpaslíkovi na povrchu nemusí být látka v degenerovaném stavu. Degenerovaný elektronový plyn se v bílém trpaslíkovi nachází v jádře hvězdy, povrch se v tomto stavu nacházet nemusí. Rovnice 5.130 totiž popisuje vztah mezi poloměrem a hmotností nutných pro vznik degenerovaného plynu v jádře, nikoliv na povrchu.

Horní odhad intenzity gravitačního pole, při kterém by čílové ještě mohli existovat, můžeme získat kombinací vztahů 5.127 a 5.126. Po dosazení pak vychází maximální hodnota intenzity gravitačního pole $2,5 \cdot 10^{12} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Tato intenzita gravitačního pole udává mez, při které dojde ke zhroucení degenerovaného elektronového plynu na degenerovaný neutronový plyn.

Dále můžeme zkusit odhadnout, jaká energie by se uvolnila při expanzi degenerované elektronové hmoty jednoho číly. energii přepočítáme na ekvivalent uvolněné energie při explozi 1 kg TNT (trinitrotoluenu). Platí, že 1 kg TNT při explozi uvolní zhruba 4 200 kJ energie.

Pro výpočet celkové energie částic, ze kterých se skládá tělo číly, můžeme psát

$$E = \frac{m_c}{\rho_c} \cdot n \cdot E_{\text{sk}} , \quad (5.131)$$

kde $m_c = 70 \text{ kg}$ je hmotnost číly, $\rho_c \doteq 7 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ je hustota číly (hustota hmoty na povrchu neutronové hvězdy), E_{sk} je střední kinetická energie elektronu a n je koncentrace elektronů v jednotce objemu. Koncentraci elektronů získáme ze vztahu

$$n = \frac{1}{2} \frac{\rho_c}{m_u} , \quad (5.132)$$

kde ρ_c je hustota číly a $m_u = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ je atomová hmotnostní konstanta. Zde předpokládáme, že počet elektronů je stejný jako počet protonů a celkový počet nukleonů degenerované látky je dvojnásobkem počtu protonů v této látce.

Střední kinetickou energii elektronu na povrchu neutronové hvězdy odhadneme ze stavové rovnice nerelativisticky degenerovaného zcela ionizovaného plynu (opět převzato ze skript „Základy fyziky hvězd“ [110])

$$E_{\text{sk}} = \left(\frac{3}{8\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{3}{5} \frac{h^2}{2 m_e} n^{\frac{2}{3}} , \quad (5.133)$$

kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Plankova konstanta, $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ je hmotnost elektronu a n je koncentrace elektronů na povrchu neutronové hvězdy.

Po dosazení vychází uvolněná energie z těla jednoho číly zhruba $1,2 \cdot 10^{15} \text{ J}$, což odpovídá výbuchu 0,3 Mt TNT. Tato uvolněná energie je velická, odpovídá výbuchu dvaceti jaderných bomb stejných, jako byla bomba svržená na japonské město Hirošima v roce 1945.

Poznámka 18

Energii uvolněnou při expanzi degenerované neutronové hmoty (hmoty ve středu neutronové hvězdy) můžeme také odhadnout z β -rozpadu neutronu

$$n \rightarrow p + e^- + \nu . \quad (5.134)$$

Klidová hmotnost neutronu je $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg, klidová hmotnost protonu je $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ kg a klidová hmotnost elektronu je $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ kg. Hmotnostní defekt v reakci představuje $\Delta m = 1,39 \cdot 10^{-30}$ kg. Z ekvivalence mezi hmotou a energií dostaneme uvolněnou energii při rozpadu jednoho neutronu o velikosti asi $1,25 \cdot 10^{-13}$ J.

V případě číly vážícího 70 kg by se jednalo o energii

$$E = \frac{m_c}{m_u} (\Delta m \cdot c^2) = 5 \cdot 10^{15} \text{ J} , \quad (5.135)$$

kde m_c je hmotnost číly, m_u je atomová hmotnostní konstanta a $c = 3 \cdot 10^8$ m · s⁻¹ je rychlost světla.

Většina energie uvolněné z β -rozpadu neutronu připadne na kinetickou energii neutrin.

Pro odhad energie uvolněné při expanzi degenerované neutronové hmoty by teoreticky šlo využít i potenciální gravitační energie. Degenerovaná hmota vzniká stlačením obyčejné látky velkou gravitační silou, v podstatě je gravitační potenciální energie uložena v degenerované látce. Při vymizení gravitační síly ve větších vzdálenostech od neutronové hvězdy se tato energie musí uvolnit. Pro uvolněnou energii bude platit

$$E = \varkappa \frac{m_c \cdot M_{\text{DV}}}{R_{\text{DV}}} \doteq 1,7 \cdot 10^{18} \text{ J} , \quad (5.136)$$

kde $m_c = 70$ kg je hmotnost číly, $M_{\text{DV}} = 3,7 \cdot 10^{30}$ kg je hmotnost neutronové hvězdy a $R_{\text{DV}} = 10$ km je poloměr neutronové hvězdy.

Po převodu uvolněná energie odpovídá ekvivalentu 400 Mt TNT, což odpovídá energii uvolněné ze všech dosud odpálených jaderných zbraní na Zemi.

Diskuse řešení

Hmotnost neutronové hvězdy vychází 0,5 M_S , při výpočtech založených na Newtonově teorii gravitace. Rozuměji vychází hmotnost založená na kvantových jevech. Takto spočítaná hmotnost neutronové hvězdy vychází $M = 1,86 M_S$.

V textu je zmíněna intenzita gravitačního pole $1,8 \cdot 10^6$ m · s⁻² jako dostatečná k udržení látky v degenerovaném stavu. Z odhadu mezi energií gravitačního pole a energií, jakou je vázán elektron v atomu vodíku, vychází potřebná intenzita gravitačního pole $K \doteq 239 \cdot 10^6$ m · s⁻². Při menší intenzitě by mělo dojít k expanzi degenerované hmoty. Jiným možným odhadem, který pravděpodobně použil i autor, je odhadnout intenzitu gravitačního pole potřebnou pro udržení látky v degenerovaném stavu ze vztahu pro poloměr bílého trpaslíka. Druhý možný odhad řádově odpovídá informacím v knize, intenzita gravitačního pole vychází $K \doteq 7,4 \cdot 10^6$ m · s⁻².

Z uvedených výsledků plyne, že cílové by potřebovali mnohem hmotnější černou díru v hlavní lodi. V opačném případě by lidé kontakt vnímali spíše jako útok, při kterém by výzkumníci z cílských řad postupně explodovali na orbitě své neutronové hvězdy. V případě nejmenších odhadů by takový výbuch odpovídal dvaceti jaderným bombám svržených v roce 1945 na japonské město Hirošimu.

Text k prezentaci

Prezentace je uvedena v příloze Q.

Na snímcích 2 a 3 je popsán obsah prezentace.

Snímky 4 až 24 obsahují teorii, popisující závěrečná stádia hvězd. Na snímcích 3 až 6 je popsán hnědý trpaslík, na snímcích 7 až 9 jsou posány vlastnosti hvězd hlavní posloupnosti. Snímky 10 až 12 popisují bílého trpaslíka, na snímku 13 a 14 je popsána látka ve stavu degenerovaného elektronového plynu. Na snímku 15 je video zachycující manipulaci se supermanovým klíčem od jeho tajné jeskyně. Na snímcích 16 a 17 je popsána neutronová hvězda, snímek 18 obsahuje video, na kterém je zaznamenána výstavba vězení pro doktora Who. Na snímcích 19 až 21 je popsána černá díra. Snímek 22 ilustruje vlastnosti černé díry (vystráženo ze seriálu Simpsonovi). Snímky 23 a 24 upozorňují na nutnost využívání kvantové fyziky při řešení problémů s velmi hmotnými tělesy.

Na snímcích 25 a 26 je výňatek z knihy „Dračí vejce“ [109]. Snímky 27 až 29 obsahují diskusi k ukázce. Na snímcích 30 až 34 jsou vypsány údaje z knihy, které budou potřeba pro další výpočty. Na snímcích 35 až 38 je ukázán výpočet hmotnosti neutronové hvězdy nejdříve klasicky (snímky 35 a 36) a následně pomocí vztahů platných pro kvantovou mechaniku.

Na snímcích 39 až 43 je proveden výpočet nejmenší možné intenzity gravitačního pole, při níž by ještě mohla existovat hmota ve stavu elektronově degenerované látky.

Na snímcích 44 až 46 je popsán postup výpočtu energie, která se může uvolnit při expanzi elektronově degenerované látky.

Na snímcích 47 až 52 je krátce řešen problém slapových sil v blízkosti malých černých děr.

Na snímcích 53 až 55 jsou závěry a snímky 56 až 58 obsahují krátké poučení pro případ, že by se posluchač dostal do blízkosti černé díry.

Snímky 59 a 60 obsahují video popisující jak by vypadal pád do černé díry.

Na snímku 61 je ukázka ze seriálu StarGate, kde je řešena problematika slapových sil. Tato ukázka nastiňuje i problematiku dilatace času v blízkosti velmi hmotných objektů.

Na snímku 62 je zábavné video popisující funkci červí díry.

Poučení

Není vhodné si hrát s neutronově degenerovanou hmotou ve stavu beztíže, neboť je poměrně dosti výbušná a při výbuchu uvolňuje neutrina. (Většinu energie naštěstí získají neutrina, která s běžnou hmotou prakticky neinteragují).

Kapitola 6

Další provedená šetření

6.1 Explorace pojmů science fiction a fantasy

Během dotazníkového šetření se ukázalo, že ne všichni respondenti zcela jednoznačně vnímají pojmy *sci-fi* a *fantasy*. Z tohoto důvodu byl proveden kvalitativní výzkum, jehož účelem bylo zjistit odpověď na otázku: „Co si představíš pod pojmem sci-fi nebo fantasy?“

Výzkum byl primárně zaměřen na respondenty ve věkové kategorii patnáct až dvacet let. Tato věková kategorie odpovídá studentům studujícím na středních školách. Pro výzkum byla náhodně vybrána jedna třída na VOŠ a SPŠE v Plzni a dále skupina mladých lidí v restauraci ŠACH–MAT v Plzni. Výzkum byl proveden volnou výtvarnou formou, kdy respondentovi byla položena otázka a byl požádán, aby se pokusil výtvarně vyjádřit svoji odpověď.

Celkem bylo shromážděno 56 výtvarných děl. Z tohoto množství bylo vyřazeno šest děl, která nesplňovala zadání, nebyla například zpracována výtvarně, ale respondent se pokusil odpovědět písemně nebo dílo nebylo dokončeno či bylo autorem zavrženo a začmáráno. Po vyřazení bylo do průzkumu zahrnuto 50 děl (11 děl vytvořily ženy a 39 děl vytvořili muži). Díla lze nalézt v příloze R.

Během explorativního průzkumu bylo mimo jiné zjištěno, že schopnosti grafického projevu nezávisí na věku. Některá díla u respondentů starších 15 let lze bez problémů zaměnit s grafickým projevem pětiletého dítěte.

Celkově se ukazuje, že pod pojmem *sci-fi* si respondenti nejčastěji představují vesmírnou loď. Méně častá je představa robotů, měst budoucnosti nebo mimozemšťanů.

Pojem *fantasy* u respondentů nejčastěji evokuje představu fantaskních bytostí (humanoidních, častěji však zvířecích) nebo symboliku meče. V dílech je občas problematické rozlišit, zda humanoidní bytosti jsou považovány autorem za mimozemšťany (sci-fi prvek) nebo za fantaskní tvory (fantasy prvek). Velmi oblíbenou představou u pojmu *fantasy* je drak nebo kůň (jednorožec).

Také se ukazuje, že tematické zpracování je ovlivněno pohlavím. Ženy se ve svých dílech více soustředily na obrázky bez agresivních prvků, jako jsou palné zbraně, střelba či používané chladné zbraně (například meče). Tématem mužských děl byly převážně agresivní prvky, velmi často jsou zobrazeny probíhající bitvy.

Explorativní průzkum lze shrnout takto:

Pod pojmem *sci-fi* si studenti středních škol představují nejčastěji podžánr označovaný jako „space opera“, ve kterém se vše točí okolo vesmírných bitev. Nejvýznamnějším představitelem tohoto podžánru je George Walton Lucas.

Pod pojmem *fantasy* si studenti středních škol představují nejčastěji podžánr označovaný jako „hrdinská fantasy“ nebo „meč a magie“, kde se děj upíná k několika hlavním hrdinům bojujících proti zlu. Nejvýznamnějším představitelem tohoto žánru je John Ronald Reuel Tolkien.

6.2 Zhodnocení vlivu prezentací na výkony žáků

V roce 2013 bylo na VOŠ a SPŠE v Plzni provedeno zhodnocení vlivu prezentací na výkony žáků. Průzkumu se účastnilo 65 studentů, kterým byly předloženy prezentace z této práce a jako kontrolní vzorek bylo vybráno 29 studentů, kteří prezentace nikdy neviděli.

Výkon žáků byl posuzován upraveným didaktickým testem založeným na testech Miroslavy Široké a Milana Bednaříka. Soubor didaktických testů těchto autorů („**Testy ze středoškolské fyziky : mechanické kmitání a vlnění**“ [112]) byl zvolen především proto, že tyto testy jsou sestaveny na základě dlouholetých výzkumů zaměřených na ověřování žákovských vědomostí z fyziky. Využitím již zpracovaných didaktických testů odpadlo prověřování, zda didaktické testy připravené pro účely zhodnocení výkonů žáků jsou správně didakticky zpracované.

Do didaktického testu byly přidány tři otázky, které se přímo vztahovaly k prezentaci, kterou lze nalézt v příloze O (text k této prezentaci je v kapitole 5.4.1). Testy byly vyhotoveny ve dvou variantách A a B. Obě varianty lze nalézt v příloze S. Přidané otázky zněly: „Jaký pohyb může v krajním případě vykonávat těleso na pružném kyvadle v tíhovém poli Země?“, „Jak se bude pohybovat kyvadlo ve stavu beztíže?“ a „Jak se bude pohybovat pružinový oscilátor ve stavu beztíže?“

Dvě poslední otázky didaktického testu byly se studenty před testem řešeny buď v hodinách fyziky, nebo byly zmíněny v prezentaci. Otázka o pohybu tělesa na pružném kyvadle nebyla řešena ani s jednou skupinou studentů, odpověď tak student nemohl znát. Srovnáním odpovědí na tuto otázku s odpověďmi na otázky týkající se pohybu kyvadla a pružinového oscilátoru ve stavu beztíže pak bylo možné porovnat význam prezentací z hlediska procesu zapamatování si informací.

Vliv prezentací na výkony žáků byl vyhodnocován pomocí kontingenčních tabulek popsanych v kapitole 4.2.4. Pro účely kontingenčních tabulek byl didaktický test ohodnocen klasifikačními stupni a byl sledován vliv prezentace na známku. Dále byly vyhodnoceny dodatečné otázky v závislosti na tom, zda student prezentace viděl či neviděl.

Ačkoliv didaktický test byl normalizovaný a rozdělení klasifikačních známek mělo odpovídat normálnímu rozdělení se střední hodnotou $\mu = 3$, výsledky studentů tomu neodpovídaly. Průměrná klasifikační známka z didaktického testu byla $\bar{x} = 3,98$. Pro potřeby kontingenční tabulky tak bylo potřeba vytvořit tři kategorie. Do první kategorie byli seskupeni studenti s klasifikačními stupni výborný až dobrý, druhá kategorie obsahovala studenty s hodnocením dostatečný a do třetí kategorie byli zahrnuti studenti s hodnocením nedostatečný.

Hypotézy a jejich alternativy byly stanoveny takto:

1. H_0 : Sledování prezentací nemá vliv na známku získanou z didaktického testu.
 H_1 : Sledování prezentací ovlivňuje známku získanou z didaktického testu.
2. H_0 : Odpovědi na otázky o pohybu kyvadla a pružinového oscilátoru nebudou souviset s tím, zda student prezentace viděl.
 H_1 : Student, který prezentace zhlédl, bude správně odpovídat na otázky o pohybu kyvadla a pružinového oscilátoru.

Výzkumem bylo zjištěno, že první hypotézu „ H_0 : Sledování prezentací nemá vliv na známku získanou z didaktického testu“ lze na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ potvrdit, neboť Pearsonův koeficient kontingence je $C = 0,09$, vizte tabulku 6.1.

Tabulka 6.1 *Kontingenční tabulka, vztah klasifikační známky a tím, zda student prezentaci viděl.*

Hodnocení	Student prezentaci		
	viděl	neviděl	součet
výborně až dobře	15	9	24
dostatečně	25	11	36
nedostatečně	25	9	34
součet	65	29	94
$\chi^2 = 0,8$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,09$		$K = 0,01$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 66,88\%$	

Druhou hypotézu lze na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ zavrhnout, vizte tabulky 6.2 a 6.3. Lze proto přijmout alternativní hypotézu „ H_1 : Student, který prezentace shlédl, bude správně odpovídat na otázky o pohybu kyvadla a pružinového oscilátoru.“

Tabulka 6.2 *Kontingenční tabulka, vztah odpovědi na otázku „Jak se bude pohybovat kyvadlo ve stavu beztíže?“ a tím, zda student prezentaci viděl.*

Pohyb je	Student prezentaci		
	viděl	neviděl	součet
rovnoměrný	22	7	29
jiná odpověď	31	34	65
součet	53	41	94
$\chi^2 = 6,47$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,25$		$K = 0,05$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 3,93\%$	

Závislost mezi sledováním prezentace a znalostí správné odpovědi na otázku: „Jaký pohyb může v krajním případě vykonávat těleso na pružném kyvadle v tíhovém poli Země?“ nelze potvrdit ani vyvrátit, vizte tabulku 6.4.

Tabulka 6.3 *Kontingenční tabulka, vztah odpovědi na otázku „Jak se bude pohybovat pružinový oscilátor ve stavu beztlíže?“ a tím, zda student prezentaci viděl.*

Pohyb oscilátoru je	Student prezentaci		
	viděl	neviděl	součet
periodický	28	1	29
jiná odpověď	35	30	65
součet	63	31	94
$\chi^2 = 16,55$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,39$		$K = 0,12$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 0,03\%$	

Tabulka 6.4 *Kontingenční tabulka, vztah odpovědi na otázku „Jaký pohyb může v krajním případě vykonávat těleso na pružném kyvadle v tíhovém poli Země?“ a tím, zda student prezentaci viděl.*

Pohyb je	Student prezentaci		
	viděl	neviděl	součet
chaotický	23	6	29
jiná odpověď	44	21	65
součet	67	27	94
$\chi^2 = 1,32$		$\chi_{\text{krit}}^2 = 5,99$	
$C = 0,12$		$K = 0,01$	
pravděpodobnost nezávislosti		$p = 51,63\%$	

Shrneme-li poznatky z tohoto průzkumu, pak lze říci, že prezentace nemají vliv na klasifikační hodnocení studentů. Prezentace však vedou k lepšímu zapamatování si informací, které jsou v hodinách fyziky zmíněny pouze okrajově.

Od komplexnějšího zhodnocení vlivu prezentací na výkony žáků bylo upuštěno, neboť jak se ukazuje, prezentace pravděpodobně nemají vliv na kvalitu žákovských výkonů v didaktických testech.

6.3 Dotazníkový průzkum oblíbenosti prezentací

Dotazníkový průzkum oblíbenosti prezentací v hodinách fyziky byl proveden v roce 2015 ve čtyřech třídách na VOŠ a SPŠE v Plzni.

Během školního roku 2014/2015 byly prezentace předloženy třídě se zaměřením na „Informatiku v ekonomice a cestovním ruchu“, dále třídě „Technického lycea“ a dvěma třídám se zaměřením „Elektrotechnika“. Ve třídě technického lycea a v jedné třídě se zaměřením na elektrotechniku vyučovala Mgr. Petra Heřmanová a ve zbylých dvou třídách jsem učil já.

Dotazník (vizte přílohu T) je rozdělen na tři části. V první části respondent odpovídal na otázky, které ho charakterizují a kategorizují. V této části je 5 otázek, ve kterých je zjišťováno pohlaví a zaměření studenta, zájem o techniku nebo o sci-fi a fantasy žánr. Druhá část (otázka VI. až XII.) je zaměřena na hodnocení vytvořených prezentací. Ve třetí části jsou respondenti vybídnuti ke sdělení vlastních názorů a připomínek.

Pro přehlednost tabulky 6.5 si uvedme možné odpovědi.

Otázka číslo I Pohlaví: a) muž b) žena.

Otázka číslo II Zájem o techniku: a) nemám b) tu a tam c) technika a věda jsou mi vším.

Otázka číslo III Sci-fi nebo fantasy: a) miluji nadevše b) se mi občas líbí c) mě vůbec nezajímá.

Otázka číslo IV Svět ve sci-fi je: a) možný b) nemožný c) jen z části možný.

Otázka číslo V Studuji: a) informatiku v ekonomice a cestovním ruchu b) elektro-techniku c) technické lyceum.

Otázka číslo VI Prezentace mě: a) zaujaly b) nezaujaly c) byly ukradené.

Otázka číslo VII Ocenil/ocenila bych více: a) obrázků b) rovnic c) grafů a tabulek

Otázka číslo VIII Prezentace byly: a) velmi jednoduché b) komplikované c) přiměřené mým schopnostem

Otázka číslo IX Oproti běžné hodině byly a) zajímavější b) méně zajímavé c) asi tak stejně zajímavé

Otázka číslo X Více prezentací: a) ano b) ne c) několik málo během roku stačí

Otázka číslo XI Ke studiu fyziky by mě: a) více motivovaly b) demotivovaly c) neovlivnily

Otázka číslo XII Experimenty k prezentaci: a) super b) k ničemu c) bylo by mi to jedno

Tabulka 6.5 *Dotazníkový průzkum oblíbenosti prezentací. Písmena a, b a c označují možnosti výběru, vizte dotazník v příloze T.*

otázka číslo	odpověď			odpověď %			počet odpovědí
	a	b	c	a	b	c	
I. Pohlaví	59	16		78,7 %	21,3 %		75
II. Zájem o techniku	1	61	13	1,3 %	81,3 %	17,4 %	75
III. Sci-fi nebo fantasy	28	39	8	37,3 %	52,0 %	10,7 %	75
IV. Svět ve sci-fi je	9	12	53	12,2 %	16,2 %	71,6 %	75
V. Studuji	21	32	22	28,0 %	42,7 %	29,3 %	75
VI. Prezentace mě	70	3	1	94,5 %	4,1 %	1,4 %	74
VII. Ocenil/ocenila bych více	65	3	6	87,8 %	4,1 %	8,1 %	74
VIII. Prezentace byly	9	8	58	12,0 %	10,7 %	77,3 %	75
IX. Oproti běžné hodině byly	61	2	12	81,3 %	2,7 %	16,0 %	75
X. Více prezentací	59	0	16	78,7 %	0,0 %	21,3 %	75
XI. Ke studiu fyziky by mě	42	0	32	56,8 %	0,0 %	43,2 %	74
XII. Experimenty k prezentaci	52	1	1	96,2 %	1,9 %	1,9 %	54

Z tabulky 6.5 vyplývá, že prezentace studenti v hodinách velmi oceňují především jako zpestření hodiny. Dále se ukazuje, že ne všechny prezentace vytvořené v rámci této práce jsou vhodné pro studenty středních škol. Vhodné a přiměřené jsou především kratší prezentace bez složitých výpočtů. V tabulce 6.5 sice více jak tři čtvrtiny respondentů uvádí, že prezentace jsou přiměřené jejich schopnostem, ale je nutno zmínit, že studenti hodnotili pouze vybrané prezentace, nikoliv všechny prezentace zpracované v rámci této práce.

Dále se ukazuje, že prezentace studenty od studia fyziky naštěstí neodradí, ale jen polovinu respondentů ke studiu fyziky více motivují.

Je také zajímavé, že skoro všichni respondenti by ocenili během prezentace demonstraci některých experimentů. Tento fakt je nepochybně dalším námětem k doplnění stávajících prezentací a k zapracování do připravovaných prezentací.

Z údajů získaných ve třetí části dotazníků se ukazuje, že studenti preferují více video ukázek a animací. Z dalších doporučení lze jmenovat například zhodnocení filmu z hlediska akceptování či neakceptování fyzikálních zákonů. Tato myšlenka nepochybně stojí za zakomponování do dalších připravovaných prezentací. Dále si studenti přáli vytvoření prezentací rozebírající animované filmy a seriály (případně i pohádky).

Mezi filmy, které studenti doporučují zpracovat, lze zařadit: Stargate, Star Trek, Big Bang Theory, Boříči mýtů a Mass Effect (film, jehož předlohou je stejnojmenná počítačová hra).

Původním záměrem výzkumu bylo též z výsledků dotazníkového šetření vytvořit kontingenční tabulky a s jejich pomocí testovat hypotézy. Bohužel kvůli nízké variabilitě odpovědí a malému počtu respondentů nebylo možné kontingenční tabulky sestavit.

Celý výzkum byl opět zpracován v aplikaci „OpenOffice.org Calc“.

Závěr

Z provedených výzkumů vyplývá, že média ovlivňují jak studenty středních škol, tak i žáky škol základních. Představa o science fiction a fantasy je utvářena především díky filmům a seriálům, které jsou velmi často vysílány v médiích. Dále díky velmi častému zjednodušování dějové linie a doplňování akčních scén u mediálně rozšířených filmů nedochází u dětí k rozvoji představivosti, a tak se prožitek z filmu stává jen pasivním přijímáním předkládaných scén.

Vytvořené prezentace se ukázaly jako velmi užitečné a motivující. Jejich obliba je však dána tím, že slouží především ke zpestření hodin a zvýšení motivace o studium přírodovědných oborů. Kdyby byly prezentace využívány v každé hodině, ztratily by na své oblibě. Prezentace budou rozhodně dále rozšířeny o další ukázky z filmů a knih, neboť zájem o ně na VOŠ a SPŠE v Plzni je. Pravděpodobně dojde i k nabídce využití prezentace i na jiných školách. Na humanitně zaměřených školách však bude muset být vynechána podstatná část výpočtů a nahrazena popisem dalších postupů, neboť hrozí, že by se žáci mohli ve výpočtech ztrácet a spíše než k motivaci by u nich došlo k pravému opaku.

Pro rozšíření práce v budoucnu by určitě bylo možné vytvořit prezentace na základě námětů z webu „**Glossary of Science Fiction Ideas and Inventions**“ [16], neboť na tomto webu jsou vypsány úryvky z děl se zajímavou myšlenkou.

Dalším rozšířením práce by mohlo být vytvoření webových stránek, na kterých by byly filmy hodnoceny z hlediska akceptování či neakceptování fyzikálních zákonů. Dalším rozšířením by bylo vytvoření experimentů souvisejících s jednotlivými ukázkami.

Všechny prezentace zpracované pro potřeby této práce budou k dispozici na stránkách www.plzi.wz.cz. Dále zde budou umístěny i prezentace, které v této práci nejsou publikovány, případně na uvedených stránkách bude možné stáhnout prezentace, které budou vytvořeny v budoucnu.

Literatura

- [1] KOHOUT, Václav. *Úžasná(?) Zeměplocha I a II*. Školská fyzika, V. a VI. ročník, číslo 2 a 3. Plzeň: KOF, ZČU, 1998.
- [2] *Lidstvu degeneruje paměť kvůli počítačům a mobilům*. Novinky.cz [online]. [cit. 17. října 2015]. Dostupné z:
<http://www.novinky.cz/veda-skoly/382741-lidstvu-degeneruje-pamet-kvuli-pocitacum-a-mobilum.html>
- [3] *Národní institut dětí a mládeže* [online]. Poslední revize neuvvedena [cit. 19. dubna 2014]. Dostupné z:
<http://www.nidm.cz/neformalni-vzdelavani/specificke-poruchy-uceni-1-cast>
- [4] ŠVANCAR, Radmil. *Učiteléské noviny: Kolik je vlastně dětí s vývojovou poruchou učení?* [online]. Učiteléské noviny, číslo 20, 2006. Poslední revize neuvvedena [cit. 20. dubna 2014]. Dostupné z:
<http://www.ucitelskenoviny.cz/?archiv&clanek=4414&PHPSESSID=8f819ad3035fe727e0c74ff3cb8bc6f7>
- [5] MAŇÁK, Josef, ŠVEC, Vlastimil. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. ISBN 80-7315-039-5.
- [6] PECINA, Pavel. *Didaktika technických (odborných) předmětů – Výuková prezentace*. [online]. UniEDU. Poslední revize neuvvedena [cit. 4. května 2014]. Dostupné z:
<http://www.uniedu.vutbr.cz/Vzdlvac%20materily/T%C3%BDm%20nastupuj%C3%ADc%C3%ADch%20akademick%C3%BDch%20pracovn%C3%ADk%C5%AF%20-%20Didaktika%20technick%C3%BDch%20p%C5%99edm%C4%9Bt%C5%AF.ppt>
- [7] *Vyšetřování ztráty třídní knihy* [divadelní hra]. Autoři Ladislav Smoljak a Jára Cimrman. Česká republika, Divadlo Jára Cimrmana, 4. 10 1967.
- [8] FRANZ, Marie-Louise, von. *Psychologický výklad pohádek*. 2. vyd. Praha: Portál, 2008. 182 s. ISBN 978-80-7367-489-2.
- [9] PLHÁKOVÁ, Alena. *Učebnice obecné psychologie*. 1. vyd. ACADEMIA, 2013. 472 s. ISBN 978-80-2001-499-3.
- [10] SZCZEPANIK, Petr, SKOPAL, Pavel, KUČERA, Jakub. *Imaginace a mentální stavy v diváckém rozumění filmové fikci: Rozhovor s Gregorym Curriem*. Iluminace. 2003, ročník 15, č. 1. Dostupné z:

- http://www.iluminace.cz/Joomla/images/stories/clanky/currie_1_2003.pdf
- [11] ŠEVCŮJ, Ladislav (Knedle). *LEGIE – databáze knih Fantasy a Sci-Fi* [online]. c2005. Poslední revize neuvědena [cit. 6. června 2011]. Dostupné z: <http://www.legie.info>
- [12] *Listverse* [online]. c2007–2014. Poslední revize neuvědena [cit. 17. května 2014]. Dostupné z: <http://listverse.com/>
- [13] *Decoded Stuff* [online]. c2014. Poslední revize neuvědena [cit. 17. května 2014]. Dostupné z: <http://www.decodedstuff.com/>
- [14] POMO Media Group s.r.o.. Česko–Slovenská filmová databáze [online]. c2001. Poslední revize neuvědena [cit. 6. června 2011]. Dostupné z: <http://www.csfd.cz>
- [15] PERELMAN, Jakov Isidorovič. *Zábavná fyzika*. Perfekt, 2008. 192 s. ISBN 80-8046-424-0.
- [16] CHRISTENSEN, Bill. *Glossary of Science Fiction Ideas and Inventions* [online]. Poslední revize neuvědena [cit. 13. června 2011]. Dostupné z: <http://www.technovelgy.com/ct/ctnlistalpha.asp>
- [17] FRAKNOI, Andrew. *Science Fiction Stories with Good Astronomy & Physics: A Topical Index* [online]. Astronomical Society of the Pacific. Poslední revize leden 2012 [cit. 15. února 2014]. Dostupné z: <http://www.astrosociety.org/education/astronomy-resource-guides/science-fiction-stories-with-good-astronomy-physics-a-topical-index/>
- [18] WILLIS, Connie, KATZ, David, WILLIS, Courtney. *Ways to use science fiction in the science classroom* [online]. c1999, poslední revize neuvědena [cit. 13. června 2011]. Dostupné z: <http://www.chymist.com/science%20and%20science%20fiction.html>
- [19] KATZ, David. *Science and Science Fiction* [online]. c2004, poslední revize neuvědena [cit. 10. května 2014]. Dostupné z: <http://www.chymist.com/Science%20and%20Science%20Fiction.pdf>
- [20] REICHL, Jaroslav. *Panská fyzika* [online]. Poslední revize 29. ledna 2014 [cit. 8. února 2014]. Dostupné z: http://vnuf.cz/sbornik//rozsirene/Reichl_PanskaFyzika.pdf
- [21] *Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky* [online]. Poslední revize 29. ledna 2014 [cit. 8. února 2014]. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/rozsirene/>

- [22] HUNĚK, Jan. *Fyzika ve sci-fi literatuře*. Maturitní práce: Střední průmyslová škola sdělovací techniky. Praha, Panská 3. Technické lyceum 78-42-M/001. Školní rok: 2010/2011. Dostupné z:
http://www.jreichl.com/fyzika/dmp/071/hunek_ukazka.pdf
- [23] *Fyzikální korespondeční seminář: ročník XXI, číslo 5* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 8. února 2014]. UK v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, Ústav teoretické fyziky. Dostupné z:
<http://fykos.cz/rocnik21/serie5.pdf>
- [24] CLARKE, Arthur Charles. *Setkání s Rámou*. 1. vyd. Překlad Zdeněk VOLNÝ. Svoboda, 1984, 217 s. Edice: Omnia, Ráma. ISBN 25-092-84.
- [25] KAKU, Michio. *Fyzika nemožného*. 1. vyd. Praha: Argo, 2010, 291 s. ISBN 978-80-257-0209-3.
- [26] ELERT, Glen. *The Physics Hypertextbook: Science Fiction* [online]. 2014. Poslední revize 8. ledna 2014 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://physics.info/news/?cat=12>
- [27] KNOP, Robert. *The Physics Hypertextbook: Science Fiction* [online]. 2007. Poslední revize červen 2007 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://www.sonic.net/~rknop/php/astronomy/talkslides/newtontv.pdf>
- [28] BROTHERTON, Mike. *Ten Classic Hard Science Fiction Novels featuring Physics and Astronomy* [online]. Poslední revize 12. listopadu 2012 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://www.sfw.org/2012/11/ten-classic-hard-science-fiction-novels-featuring-the-physics-and-astronomy-mik/>
- [29] SEAY, Thomas, WILLIAMS, Nathaniel. *Science Fiction for Physics Students* [online]. 2006. Poslední revize 2006 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://www.aboutsf.com/main/educational-resources/teaching-aids-tools/science-fiction-physics-students>
- [30] SOLOMON, Thomas. *sci-fi Laws Of Physics* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://www.eg.bucknell.edu/physics/211/funstuff/scifiphys.html>
- [31] DAVID, Erick. *The 50 Laws of Science Fiction Physics* [online]. Poslední revize 23. prosince 2009 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://kunochan.com/?p=1143>
- [32] *Teachers Institute of Philadelphia* [online]. Poslední revize 2006 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
http://www.tip.sas.upenn.edu/2008_volume_04.html
- [33] LOVE, Andrew. *Physics in Science Fiction* [online]. Poslední revize 2000 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z:
<http://www.larryniven.net/physics.shtml>

- [34] ROGERS, Tom. *Insultingly Stupid Movie Physics* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 13. února 2014]. Dostupné z: <http://www.intuitor.com/moviephysics/>
- [35] *The Physics of Science Fiction* [blog]. Poslední revize neuvedena [cit. 13. února 2014]. Dostupné z: <http://physicsofscifi.blogspot.cz/>
- [36] ALLDAY, Johnatan. *Science in science fiction* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 10. května 2014]. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/0031-9120/38/1/304>
- [37] *The Physics of Science Fiction* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 13. února 2014]. Dostupné z: <http://www.angelfire.com/id/physoscifi/>
- [38] EFTHIMIOU, Costas, LLEWELLYN, Ralph. *Cinema as a Tool for Science Literacy* [online]. Poslední revize 16. dubna 2004 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z: <http://arxiv.org/pdf/physics/0404078v1.pdf>
- [39] SVRŠEK, Jiří. *Filmy jako nástroj vědecké gramotnosti* [online]. Natura plus, číslo 8, 2004. Poslední revize 3. srpna 2004 [cit. 13. února 2014]. Dostupné z: <http://natura.baf.cz/natura/2004/8/20040803.html>
- [40] FĚDOROVÁ, Petra. *Fyzika ve filmu* [online]. Poslední revize 2010 [cit. 18. února 2015]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Ladislav DVOŘÁK. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/53474/pedf_b/
- [41] MELOUN, Jiří. *Fyzika ve filmech* [online]. Poslední revize 2008 [cit. 18. února 2015]. Dlouhodobá maturitní práce z fyziky. Dostupné z: <http://www.fyzikavefilmech.wz.cz/zdroje>
- [42] ŘÍMAN, Evžen, SLAVÍK, Josef, ŠOLER, Kliment. *Fyzika s příklady a úlohami*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1966, 352 s. ISBN 04-020-66.
- [43] TOŘ, Zdeněk. *Fyzika v příkladech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 252 s. ISBN 04-321-71.
- [44] SYROVÝ, Antonín. *Sbírka příkladů z fyziky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 476 s. ISBN 04-016-71.
- [45] KRUŽÍK, Miroslav. *Sbírka úloh z fyziky pro žáky středních škol*. 4. vyd. Praha: SPN, 1979, 336 s. ISBN 14-190-79.
- [46] FUKA, Josef, KLEVETA, Alois, ŠOLC, Martin. *Cvičení z fyziky pro I. ročník gymnázií*. 1. vyd. Praha: SPN, 1985, 288 s. ISBN 14-504-85.
- [47] FUKA, Josef, FREI, Václav, SVOBODA, Miroslav, VEVERKA Jaroslav. *Cvičení z fyziky pro II. ročník gymnázií*. 1. vyd. Praha: SPN, 1986, 264 s. ISBN 14-772-86.

- [48] FUKA, Josef, HOUDEK, Václav, KOUBEK, Václav, SVOBODA, Miroslav. *Cvičení z fyziky pro III. ročník gymnázií*. 1. vyd. Praha: SPN, 1987, 248 s. ISBN 14-568-87.
- [49] FUKA, Josef, FREI, Václav, LEPIL, Oldřich. *Cvičení z fyziky pro IV. ročník gymnázií*. 1. vyd. Praha: SPN, 1989, 256 s. ISBN 14-585-89.
- [50] LEPIL, Oldřich, BARTUŠKA, Karel, KOUBEK, Václav, VACHEK, Jaroslav. *Vybrané kapitoly z fyziky*. 1. vyd. Praha: SPN, 1987, 248 s. ISBN 14-441-87.
- [51] BLAHOVEC, Antonín. *Základy elektrotechniky v příkladech a úlohách*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 248 s. ISBN 04-534-89.
- [52] SALACH, Stanislav, PLAZAK, Tomazs, SANOK, Zofia. *500 testových úloh z fyziky: pro studenty středních škol a uchazeče o studium na vysokých školách*. 1. vyd. Přeložila KLÁŘOVÁ, Růžena. Český Těšín: SPN, 1993, 124 s. ISBN 80-04-26316-X.
- [53] ŠANTAVÝ, Ivan. *Mechanika*. 1. vyd. Praha: SPN, 1993, 293 s. ISBN 80-04-26139-6.
- [54] BARTUŠKA, Karel. *Sbírka řešených úloh z Fyziky pro střední školy I*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1997, 176 s. ISBN 80-7196-033-0.
- [55] BARTUŠKA, Karel. *Sbírka řešených úloh z Fyziky pro střední školy II*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1997, 157 s. ISBN 80-7196-034-9.
- [56] BARTUŠKA, Karel. *Sbírka řešených úloh z Fyziky pro střední školy III*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1998, 215 s. ISBN 80-7196-035-7.
- [57] BARTUŠKA, Karel. *Sbírka řešených úloh z Fyziky pro střední školy IV*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2000, 198 s. ISBN 80-7196-037-3.
- [58] ŠANTAVÝ, Ivan, TROJÁNEK, Aleš. *Fyzika*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2000, 287 s. ISBN 80-7196-138-8.
- [59] LEPIL, Oldřich, ŠIROKÁ, Miroslava. *Sbírka testových úloh k maturitě z fyziky*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2001, 128 s. ISBN 80-7196-222-8.
- [60] LEPIL, Oldřich, BEDNAŘÍK, Milan, ŠIROKÁ, Miroslava. *Sbírka úloh z fyziky pro střední školy*. 2. vyd. Praha: Prometheus, 2001, 269 s. ISBN 80-7196-204-X.
- [61] LEPIL, Oldřich, BEDNAŘÍK, Milan, HÝBLOVÁ, Radmila. *Fyzika I pro střední školy*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 2006, 266 s. ISBN 80-7196-184-1.
- [62] LEPIL, Oldřich, BEDNAŘÍK, Milan, HÝBLOVÁ, Radmila. *Fyzika II pro střední školy*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2000, 311 s. ISBN 80-7196-185-X.
- [63] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 1, Mechanika*. Redakce českého překladu MUSILOVÁ, Jana, OBDRŽÁLEK, Jan, DUB, Petr. 1. vyd. Brno: VUTIUM, Praha: Prometheus, 2000, 356 s. ISBN 80-214-1868-0.

- [64] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 2, Mechanika – Termodynamika*. Redakce českého překladu OBDRŽÁLEK, Jan, DUB, Petr. 1. vyd. Brno: VUTIUM, Praha: Prometheus, 2000, 356 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [65] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 3, Elektřina a magnetismus*. Redakce českého překladu ŠTRUNC, Marian, OBDRŽÁLEK, Jan, DUB, Petr. 1. vyd. Brno: VUTIUM, Praha: Prometheus, 2000, 356 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [66] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 4, Elektromagnetické vlny – Optika – Relativita*. Redakce českého překladu KOMRSKA, Jiří, OBDRŽÁLEK, Jan, DUB, Petr. 1. vyd. Brno: VUTIUM, Praha: Prometheus, 2000, 356 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [67] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 5, Moderní fyzika*. Redakce českého překladu LENCOVÁ, Bohumila, OBDRŽÁLEK, Jan, DUB, Petr. 1. vyd. Brno: VUTIUM, Praha: Prometheus, 2000, 356 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [68] RAUNER, Karel a kol. *Fyzika 6: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2004, 120 s. ISBN 80-723-8210-1.
- [69] RAUNER, Karel a kol. *Fyzika 7: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2005, 136 s. ISBN 80-723-8431-7.
- [70] RAUNER, Karel a kol. *Fyzika 8: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2006, 128 s. ISBN 80-7238-525-9.
- [71] RAUNER, Karel a kol. *Fyzika 9: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vyd. Plzeň: Fraus, 2013, 136 s. ISBN 978-80-7238-996-4.
- [72] *International Association for the Evaluation of Educational Achievement* [online]. Poslední revize 2011 [cit. 17. února 2014]. Dostupné z: <http://www.iea.nl/home.html>
- [73] FENCLOVÁ, Jitka. *Fyzikální vědomosti našich studentů*. Studie ČSAV. číslo 5/1980. 1. vyd. Praha: Academia, 1980, 98 s.
- [74] *The Internet Movie Database* [online]. Poslední revize 2014 [cit. 1. listopadu 2014]. Amazon.com, Inc. Dostupné z: <http://www.imdb.com/>
- [75] *Rámcový vzdělávací program pro obor elektrotechnika*. Výzkumný ústav pedagogický v Praze. Praha: Národní ústav odborného vzdělávání, 2007. Dostupné z: <http://zpd.nuov.cz/RVP/ML/RVP%202641M01%20Elektrotechnika.pdf>
- [76] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*, 3. vyd. Praha: Prometheus, 1997, 206 s. ISBN 80-85849-84-4.
- [77] *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Česká verze, Poslední revize 2002 [cit. 15. května 2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org>

- [78] *Wolfram — Alpha knowledgebase* [online]. Poslední revize 2009 [cit. 5. června 2012]. Dostupné z: <http://www.wolframalpha.com>
- [79] *Doktor Who*. 1. série, 1. díl, *Rose* [epizoda televizního seriálu]. Scénář Russell T. DAVIES. Režie Keith BOAK. Velká Británie, BBC One, 26. 3. 2005, 45 min.
- [80] KULHÁNEK, Jiří. *Stroncium*. Praha: Klub Julese Vernea, 2006, 467 s. Poutník (Klub Julese Vernea). ISBN 80-85892-85-5.
- [81] *Total Recall* [film]. Režie Len WISEMAN. USA / Kanada, 2012, 113 min.
- [82] *Superman se vrací* [film]. Režie Bryan SINGER. USA / Austrálie, 2006, 154 min. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=FLN3dPMYXeg>
- [83] *National Aeronautics and Space Administration* [online]. Poslední revize neuvědlena [cit. 10. března 2015]. Dostupné z: <http://www.nasa.gov/>
- [84] *Stav beztlíže*. 1. série, 4. díl, *Všichni za jednoho* [epizoda televizního seriálu]. Scénář James D. PARRIOTT. Režie Fred GERBER. USA / Kanada, ABC, 2. srpna 2009, 45 min.
- [85] *Babylon 5*. 2. série, 22. díl, *The Fall of Night* [epizoda televizního seriálu]. Režie Janet GREEK. USA, 1. listopadu 1995, 45 min.
- [86] *2001: Vesmírná odysea* [film]. Režie Stanley KUBRICK. Velká Británie / USA, 1968, 149 min.
- [87] *Mise na Mars* [film]. Režie Brian De PALMA. USA, 2000, 109 min.
- [88] *Riddick: Kronika temna*. [film]. Režie David TWOHY. USA, 2004, 119 min.
- [89] *Ever Wonder How Much A Celebrity Weighs?* [online]. Poslední revize 2011 [cit. 20. června 2012]. Dostupné z: <http://www.howmuchdotheyweigh.com/>
- [90] *The First Men in the Moon*. [film]. Režie Damon THOMAS. Velká Británie, 2010, 90 min.
- [91] *Wolfram — Alpha knowledgebase*: graf intenzity a výšky nad listem kavoritinu. [online]. Poslední revize 2009 [cit. 19. dubna 2015]. Dostupné z: http://www.wolframalpha.com/input/?i=real+plot+%282*3.14*5521*6.67e-11*6378000*%280.58x%2F%281%2Bx%29%2B0.42x%2Fsqrt%281%2Bx%29%29*%28acos%281%2Fsqrt%281%2Bx%29%29-x%2F%281%2Bx%29%29+%29%2C+x%3D0+to+10
- [92] *Encyclopedia Astronautica* [online]. Poslední revize neuvědlena [cit. 5. prosince 2012]. Dostupné z: <http://www.astronautix.com/index.html>
- [93] *Wolfram — Alpha knowledgebase*: výpočet rychlosti rakety. [online]. Poslední revize 2009 [cit. 5. června 2012]. Dostupné z: http://www.wolframalpha.com/input/?i=t%3Dintegrate+1%2Fsqrt%282285.3%29%2B2*%286.67e-11*%28-7.35e22%2F1.738e6-5.97e24%2F%283.844e8-1.738e6%29%29%29-2*%286.67e-11*%28-7.35e22%2F-5.97e24%2F%283.844e8-r%29%29%29+from+r%3D1.738e6+to+%283.844e8-6.378e6%29

- [94] *Wall E.* [film]. Režie Andrew STANTON. USA, 2008, 98 min.
- [95] HUBEŇÁK, Josef, HUBEŇÁK, Jiří. *Balistika bezpečně.* In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 16: sborník z konference.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011, 270 s. ISBN 978-80-244-2894-9. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/16-11-Hubenak.html>
- [96] ROBINSON, Kim Stanley. *Zločin na Merkuru.* Ikarie: Měsíčník science fiction. Praha: Mladá fronta, 1990-2010, roč. 1993, č. 5. ISSN 1210-6798.
- [97] *Mission: Impossible - Ghost Protocol.* [film]. Režie Brad Bird. USA, 2011, 127 min.
- [98] *International Energy Statistics – EIA* [online]. Poslední revize 28. května 2015 [cit. 29. května 2015]. Dostupné z: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=44&pid=45&aid=2&cid=regions,&syid=2000&eyid=2011&unit=MBTUPP>
- [99] Washburn, E.W. (1926 - 1930; 2003). *International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology (1st Electronic Edition).* Knovel. Dostupné z: <http://www.knovel.com/web/portal/main>
- [100] HOŘEJŠÍ, Jiří, ŠAFKA, Jan a kolektiv. *Statické tabulky.* Technický průvodce 51. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 683 s.
- [101] ASIMOV, Isaac. To nejlepší ze sf roku 1960: POHL, Frederik. Den, kdy zavřeli mrazírny. Překlad Martin Němec, Jiří Kudrnáč, Naděžda KUDRNÁČOVÁ. Brno: Návrat, 1994, 316 s. ISBN 80-717-4277-5.
- [102] *Doktor Who.* 5. série, 14. díl, *A Christmas Carol* [epizoda televizního seriálu]. Scénář Steven MOFFAT. Režie Toby HAYNES. Velká Británie, BBC One, prosinec 2010, 60 min.
- [103] *Battleship* [film]. Režie Peter BERG. USA, 2012, 131 min.
- [104] *Impact: Earth!* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 1. července 2015]. Dostupné z: <http://www.purdue.edu/impactearth/>
- [105] *MacGyver.* 5. série, 1. díl *Legend of the Holy Rose: Part 1* [epizoda televizního seriálu]. Režie Michael CAFFEY. USA / Kanada, 1989, 45 min.
- [106] ALDISS, Brian Wilson. *Helikonie: Léto.* Vyd. 1. Překlad Hana BŘEZÁKOVÁ. Plzeň: Laser, 1997, 415 s. Sci-fi (Laser). ISBN 80-719-3033-4.
- [107] RAUNER, Karel. *Slapové síly. Rozhledy matematicko-fyzikální: časopis pro studující středních škol a zájemce o matematiku, fyziku a informatiku.* Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 1996, roč. 73, č. 4, 165-172 s. ISSN 0035-9343.
- [108] DUBSON, Michael. *Moje sluneční soustava in PhET Interactive Simulations* [online]. Poslední revize 28. února 2013 [cit. 24. května 2015]. Copyright © 2004-2013 University of Colorado. Used Library Licensing Information: For AsWing A2: 2005-2006(c) AsWing.org. Dostupné z: phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system_cs.html

- [109] FORWARD, Robert L. *Dračí vejce*. Vyd. 1. Překlad František BOUŠKA. Frenštát pod Radhoštěm: Polaris, 1999, 294 s. Science fiction (Polaris). ISBN 80-859-1157-4.
- [110] MIKULÁŠEK, Zdeněk, KRTIČKA, Jiří. *Základy fyziky hvězd* [online]. Poslední revize neuvedena [cit. 31. března 2015]. 2005. Dostupné z: <http://astro.physics.muni.cz/download/documents/skripta/F3080.pdf>
- [111] WÁGNER, Vladimír. *Jaká je hmota uvnitř neutronových hvězd: aneb jak studujeme velmi hustou jadernou hmotu* [online]. Ústav jaderné fyziky AVČR. Poslední revize neuvedena [cit. 18. května 2012]. Dostupné z: physics.fjfi.cvut.cz/files/predmety/02ESH/5_konecna_stadia_hvezd.pdf
- [112] ŠIROKÁ, Miroslava, BEDNAŘÍK, Milan. *Testy ze středoškolské fyziky : mechanické kmitání a vlnění*. Praha: Prometheus, 1994. ISBN 80-85849-28-3.

Přílohy

- Dotazník pro respondenty z Plzně – Příloha A
- Dotazník pro respondenty z Erlangenu – Příloha B
- Rotace zeměkoule – Příloha C
- Hybnost – Příloha D
- Pohyb na vesmírné stanici – Příloha E
- Riddikův skok na laně – Příloha F
- Kavoritin – Příloha G
- Let rakety z Měsíce na Zemi – Příloha H
- Moment hybnosti – Příloha I
- Wall-E – Příloha J
- Přísavka na Merkuru – Příloha K
- Město na Merkuru – Příloha L
- Ryby plující v mlze – Příloha M
- Dopad objektu do oceánu – Příloha N
- Kyvadlo – Příloha O
- Planeta v binárním hvězdném systému – Příloha P
- Závěrečná stádia hvězd – Příloha Q

Přílohy

- Explorativní výzkum obrázků – Příloha R
- Didaktický test – Příloha S
- Dotazník pro průzkum oblíbenosti prezentací – Příloha T

Příloha A – Dotazník pro respondenty z Plzně

Dotazník

Označte číslo či písmeno u Vámi vybrané odpovědi. Vždy označte jen jednu odpověď. Pište čitelně, nejlépe tiskací.

- I. Pohlaví: a) muž b) žena
- II. Věk: a) 1 – 15 b) 16 – 30 c) 31 – 130
- III. Zájem o technické obory: a) co to je? (nemám) b) tu a tam c) technika a věda jsou mi vším
- IV. Nejraději a) čtu b) sleduji filmy c) poslouchám hudbu či mluvený text
- V. Sleduji nejraději a) celovečerní filmy b) seriály c) dokumenty
- VI. Z knih čtu nejraději a) komiksy a časopisy b) kratší povídky c) romány rozdělené do několika knih
- VII. Nejraději čtu text doplněný a) obrázky b) rovnicemi c) technickými schématy
- VIII. Sci-fi nebo fantasy a) miluji nadevše b) se mi občas líbí c) mě vůbec nezajímá, jsou to voloviny
- IX. Kdyby se fyzika na škole vysvětlovala na příkladech některých sci-fi nebo fantasy příběhů, bylo by to
a) úplně dokonalé b) zajímavé c) k ničemu (fyzika je naprostá nuda)
- X. Počet pouze sci-fi nebo fantasy filmů viděných za poslední rok: _____
- XI. Počet pouze sci-fi nebo fantasy knih přečtených za poslední rok: _____
- XII. Myslím si, že svět momentálně vykreslený ve většině sci-fi filmech či povídkách je
a) možný b) nemožný c) jen z části možný
- XIII. Domnívám se, že fyzika ve většině fantasy a sci-fi filmech či povídkách převážně
a) odpovídá realitě b) je upravená c) nerespektuje realitu

- | | ano | ne |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Myslím si, že 1) na povrchu Měsíce se procházelo maximálně 12 lidí | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) po povrchu Marsu se procházel alespoň jeden člověk | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) lidstvo má k dispozici nevyčerpatelný zdroj energie, ale tají se to | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) některé vlády mají přístup k vyspělým technologiím, které skrývají | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) lidstvo bylo kontaktováno cizími bytostmi, ale tají se to | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) někteří lidé mají nadpřirozené schopnosti, např. ovládají telepatii či telekinezi atd. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) některé vlády vlastní kosmické lodě umožňující dopravu lidí k planetám ve Sluneční soustavě. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) před naší civilizací existovala na Zemi mnohem vyspělejší civilizace. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) vytvořit lepšího robota než je člověk (androida) je jen otázkou peněz, technologie to umožňují. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10) cestovat do minulosti či budoucnosti je buď již dnes možné, případně je to otázka maximálně 20 let. ... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11) geneticky upravovat lidi není problém, jen to nyníjší legislativa v Americe a jinde přísně trestá. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12) existují organismy, které mohou žít v místech, jako jsou jaderné reaktory, či toxické skládky. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13) existují na Zemi inteligentnější tvorové než, jsme my, o nichž zatím nevíme. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14) objevit na Zemi nového, člověkem zatím nepopsaného, živočicha je možné. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15) člověk při dostatečném soustředění myslí je schopen zvýšit teplotu svého těla o min. 1°C. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16) život na Zemi založili mimozemšťané. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17) lze cestovat či pohybovat se vyšší rychlostí než světlo. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18) je již dnes možné teleportovat hmotu z jednoho místa na jiné, jen je to velmi drahá technologie. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19) je možné vidět osoby uvnitř budovy (bez oken) pomocí nočního vidění či termovize. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20) zvuk se může pohybovat mnohem rychleji než zhruba 330 m/s. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21) je možné, aby vzduch svojí tíhou zprohýbal pevné předměty (např. plechovku od Coca-Coly). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Příloha A – Dotazník pro respondenty z Plzně

U následujících otázek uveďte i více možností. V 19. možnosti uveďte jméno jiného autora či jiný název.

XIV. Z fantasy a sci-fi filmů znám děj u následujících:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1) Blade Runner | 10) District 9 |
| 2) E.T.: The Extra-Terrestrial (E.T. – Mimoszemšťan) | 11) I, Robot (Já, robot) |
| 3) Icarus XB 1 (Ikarie XB 1) | 12) Kvadri – Kvadra |
| 4) Na kometě | 13) „Pane, vy jste vdova!“ |
| 5) The Butterfly Effect (Osudový dotek) | 14) The Fifth Element (Pátý element) |
| 6) The Thing (Věc) | 15) Threads (Vlákna) |
| 7) Total Recall | 16) Vynález zkázy |
| 8) 2001: A Space Odyssey (2001: Vesmírná odysea) | 17) Krakatit |
| 9) Ráno vstanu a opáším se čajem | 18) Zabil jsem Einsteina, pánové ... |
| 19) jiný: | |

XV. Z fantasy a sci-fi seriálů či n-logii znám děj u následujících:

- | | |
|--|--|
| 1) Back to the Future (Návrat do budoucnosti) | 10) Babylon 5 |
| 2) Eureka (Heuréka – město divů) | 11) Battlestar Galactica (Hvězdná loď Galactica) |
| 3) Futurama | 12) DustStar: Renegati |
| 4) Heroes (Hrdinové) | 13) Matrix |
| 5) Stargate (Hvězdná brána) | 14) Star Trek |
| 6) Star Wars (Hvězdné války) | 15) Terminátor |
| 7) The Outer Limits (Krajní Meze) | 16) The Visitors (Návštěvníci) CZ |
| 8) Podivuhodná dobrodružství Vladimíra Smolíka | 17) Firefly |
| 9) Highlander | 18) Planet of the Apes (Planeta opic) |
| 19) jiný: | |

XVI. Z fantasy a sci-fi knih, povídek či románů, které mám přečtené, znám autory:

- | | |
|---|---|
| 1) Adams Douglas Noel (Stopařův průvodce po Galaxii, ...) | 10) Anderson Poul William (Strážci času, ...) |
| 2) Asimov Isaac (Nadace, Já, robot, ...) | 11) Bradbury Ray (Martánská kronika, 451°F, ...) |
| 3) Clarke Arthur Charles (Setkání s Rámou, ...) | 12) Grandel Moremen (Calielovi Kocoviny, ...) |
| 4) Harrison Harry Maxwell (Ocelová krysa, Zajatý vesmír, ...) | 13) Karel Čapek (Továrna na Absolutno, R.U.R., ...) |
| 5) King Stephen Edwin (Mlha, To, Carrie ...) | 14) Kulhánek Jiří (Noční klub, Cynik, ...) |
| 6) Pohl Frederik (Gateway, Svět na konci času, ...) | 15) Pratchett Terry (Úžasná zeměplocha, ...) |
| 7) Sapkowski Andrzej (Zaklínač, ...) | 16) Verne Jules (Tajuplný ostrov, Ocelové město, ...) |
| 8) Svatopluk Čech (Pravý výlet pana Broučka do Měsíce, ...) | 17) Stasheff Christopher (Čarodějem sobě navzdory, ...) |
| 9) Stanislaw Lem (Solaris, Návrat z hvězd, ...) | 18) Feist Raymond (Mág, Ochránce Impéria, ...) |
| 19) jiný: | |

XVII. Zkuste níže popsat, či definovat vašimi slovy pojem **bod**.

Nechci odpovídat na tuto otázku

XVIII. Zkuste níže popsat, či definovat vašimi slovy pojem **čas**.

Nechci odpovídat na tuto otázku

XIX. Zkuste níže popsat, či definovat vašimi slovy pojem **prostor**.

Nechci odpovídat na tuto otázku

XX. Zkuste níže popsat, či definovat vašimi slovy pojem **nicotu**.

Nechci odpovídat na tuto otázku

Příloha B – Dotazník pro respondenty z Erlangenu

Fragebogen

Markieren Sie die Nummer oder den Buchstaben bei der von Ihnen gewählten Antwort. Markieren Sie immer nur eine Antwort. Achten Sie auf Lesbarkeit, schreiben Sie am besten mit Druckbuchstaben.

- I. Geschlecht: a) männlich b) weiblich
- II. Alter: _____
- III. Interesse an Technik: a) was ist das? (keine) b) hin und wieder c) Technik ist für mich alles
- IV. Am liebsten: a) lese ich b) sehe ich fern (Filme) c) höre ich Musik oder gesprochenen Text
- V. Am liebsten sehe ich: a) Kinofilm b) TV-Serien c) Dokumentation
- VI. Am liebsten lese ich: a) Comics und Zeitschriften b) kurze Geschichten c) Romane (über mehrere Bücher)
- VII. Am liebsten lese ich Text ergänzt durch: a) Bilder b) Formeln c) technische Schemen
- VIII. Sci-fi oder Fantasy a) liebe ich über alles b) gefällt mir c) interessiert mich nicht-Schwachsinn
- IX. Wäre Physik an der Schule anhand von Sci-fi oder Fantasy Geschichten erklärt worden, wäre das a) absolut perfekt b) interessant c) untauglich (Physik ist langweilig)
- X. Anzahl der im letzten Jahr gesehenen Sci-fi oder Fantasy **Filme**: _____
- XI. Anzahl der im letzten Jahr gelesenen Sci-fi oder Fantasy **Bücher**: _____
- XII. Ich denke, dass die Welt, wie sie momentan in den meisten Fantasy und Sci-fi Filmen oder Geschichten dargestellt wird, : a) möglich ist b) unmöglich ist c) nur teilweise möglich ist
- XIII. Ich denke, dass Physik in den meisten Fantasy und Sci-fi Filmen oder Geschichten überwiegend a) der Realität entspricht b) abgeändert ist c) der Realität nicht entspricht

Ich denke, dass :

- | | ja | nein |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) auf der Mondoberfläche maximal 12 Menschen standen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) auf der Marsoberfläche wenigstens ein Mensch stand. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) die Menschheit eine unendliche Energiequelle hat, dies jedoch geheim gehalten wird. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) manche Regierungen Zugang zu fortgeschrittenen Technologien haben, diese aber geheim halten. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) die Menschheit mit fremden Wesen in Kontakt kam, dies jedoch geheim gehalten wird. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) manche Menschen übernatürliche Kräfte haben, zB. Telepatie Telekinese usw. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) manche Regierungen Raumfahrtschiffe besitzen, die fähig sind, Menschen auf Planeten im Sonnensystem zu transportieren. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) vor unserer Zivilisation auf der Erde eine viel mehr entwickelte Zivilisation existierte. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) einen Roboter, der besser ist als Mensch, zu schaffen, nur eine Frage der Finanzen ist, die Technologien ermöglichen dies bereits. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10) das Reisen in die Vergangenheit oder Zukunft entweder heute schon möglich ist oder dies die Frage von maximal 20 Jahren ist. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11) die genetische Modifikation von Menschen kein Problem ist, nur wird dies von der Legislative in USA streng bestraft. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12) Organismen existieren, die an Orten wie Kernreaktoren oder toxischen Deponien leben können. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13) auf der Erde intelligentere Wesen, als wir es sind, existieren, aber wir diese noch nicht kennen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14) es möglich ist, auf der Erde ein bisher unbeschriebenes Lebewesen zu entdecken. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15) der Mensch fähig ist, durch ausreichende Konzentration die Temperatur seines Körpers um min.1°C zu erhöhen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16) Leben auf Erden durch Ausserirdische angelegt wurde. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17) es möglich ist, mit Geschwindigkeit größer als Lichtgeschwindigkeit zu reisen/sich zu bewegen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18) es schon heute möglich ist, Masse von einem Ort auf einen anderen zu teleportieren, nur ist es eine sehr teure Technologie. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19) es möglich ist, Personen innerhalb eines Gebäudes (ohne Fenster) mittels Nacht-Vision oder Thermovision zu sehen. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20) Schall sich mit viel größerer Geschwindigkeit verbreiten kann als cca. 330 m/s. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21) es möglich ist, dass die Luft mit ihrer Masse feste Gegenstände um/verbiegen kann (zB. Eine Coca-Cola Dose). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Příloha B – Dotazník pro respondenty z Erlangenu

Markieren Sie bei folgenden Fragen auch mehrere Möglichkeiten. Bei Möglichkeit 19 wird ein anderer Schriftsteller oder Titel verlangt.

XIV. Bei Fantasy oder Sci-fi Filmen kenne ich die Handlung folgender Titeln:

- | | |
|---|--|
| 1) Blade Runner | 10) District 9 |
| 2) E.T.: The Extra-Terrestrial (E.T. – Der Außerirdische) | 11) I, Robot (Ich, der Robot) |
| 3) Im Staub der Sterne | 12) Kvadri – Kvadra |
| 4) Signale – Ein Weltraumabenteurer | 13) Operation Ganymed |
| 5) The Butterfly Effect (Butterfly Effect) | 14) The Fifth Element (Das fünfte Element) |
| 6) The Thing (Es) | 15) Threads |
| 7) Total Recall | 16) F.P.1 antwortet nicht |
| 8) 2001: A Space Odyssey (2001: Odysee im Weltraum) | 17) Metropolis (1927) |
| 9) Pandorum | 18) Eolomea |
| 19) andere: | |

XV. Bei Fantasy oder Sci-fi Serien oder N-Logien kenne ich die Handlung bei folgenden Titeln:

- | | |
|---|---|
| 1) Back to the Future (Zurück in die Zukunft) | 10) Babylon 5 (Spacecenter Babylon 5) |
| 2) Eureka | 11) Battlestar Galactica |
| 3) Futurama | 12) DustStar: Renegats |
| 4) Heroes | 13) Matrix |
| 5) Stargate | 14) Star Trek |
| 6) Star Wars | 15) Der Terminator |
| 7) The Outer Limits | 16) Herrliche Zeiten im Spessart |
| 8) Raumpatrouille Orion | 17) Firefly |
| 9) Highlander | 18) Planet of the Apes (Planet der Affen) |
| 19) andere: | |

XVI. Aus Fantasy und Sci-fi Büchern, Geschichten oder Romanen, die ich gelesen habe, kenne ich folgende Autoren:

- | | |
|--|---|
| 1) Adams Douglas Noel (Per Anhalter durch die Galaxis, ...) | 10) Anderson Poul William (Hüter der Zeiten, ...) |
| 2) Asimov Isaac (Foundation, Ich, der Robot, ...) | 11) Bradbury Ray (Die Mars-Chroniken, 451°F, ...) |
| 3) Clarke Arthur Charles (Rendezvous mit Rama, ...) | 12) Grandel Moremen (Caliels Kater, ...) |
| 4) Harrison Harry Maxwell (Die Stahlratte, Die Todeswelt, ...) | 13) Karel Čapek (Die Fabrik des Absoluten, R.U.R., ...) |
| 5) King Stephen Edwin (Im Morgengrauen, Es, Carrie ...) | 14) Wolfgang Jeschke (Das Cusanus-Spiel, ...) |
| 6) Pohl Frederik (Gateway, Der schwarze Stern der Freiheit, ...) | 15) Pratchett Terry (Scheibenwelt, ...) |
| 7) Sapkowski Andrzej (Der Hexer, ...) | 16) Verne Jules (Die geheimnisvolle Insel, ...) |
| 8) Hans Dominik (Die Macht der Drei, ...) | 17) Stasheff Christopher (Der Zauberer Ihrer Majestät, ...) |
| 9) Stanislaw Lem (Solaris, Rückkehr von den Sternen, ...) | 18) Feist Raymond (Der Lehrling des Magiers, ...) |
| 19) andere: | |

XVII. Versuchen Sie mit eigenen Worten den Begriff **Punkt** zu definieren. Ich will diese Frage nicht beantworten

XVIII. Versuchen Sie mit eigenen Worten den Begriff **Zeit** zu definieren. Ich will diese Frage nicht beantworten

XIX. Versuchen Sie mit eigenen Worten den Begriff **Raum** zu definieren. Ich will diese Frage nicht beantworten

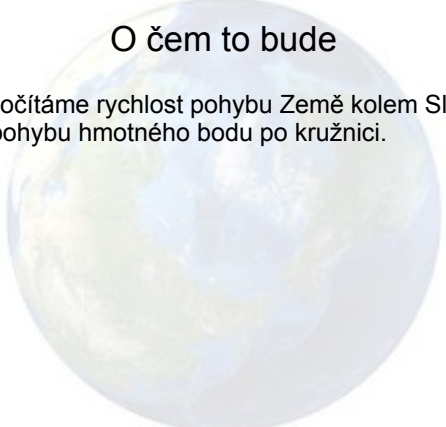
XX. Versuchen Sie mit eigenen Worten den Begriff **Nichtigkeit** zu definieren. Ich will diese Frage nicht beantworten

Příloha C – Rotace zeměkoule



Rotace zeměkoule

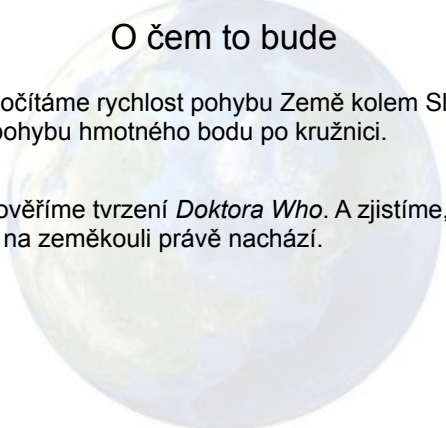
pohyb po kružnici



O čem to bude

- Spočítáme rychlost pohybu Země kolem Slunce z pohybu hmotného bodu po kružnici.

2/35



O čem to bude

- Spočítáme rychlost pohybu Země kolem Slunce z pohybu hmotného bodu po kružnici.
- Prověříme tvrzení *Doktora Who*. A zjistíme, kde se na zeměkouli právě nachází.

3/35



Uvedení do situace



ukázka ze seriálu doktor Who S01E01

4/35



Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za ?

5/35



Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za den.

6/35

Příloha C – Rotace zeměkoule

Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za den.
- Země oběhne kolem Slunce jednou za ?

7/35

Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za den.
- Země oběhne kolem Slunce jednou za rok.

8/35

Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za den.
- Země oběhne kolem Slunce jednou za rok.
- Délka dne a délka roku je však jiná, než jsme běžně zvyklí. Měli bychom brát délky podle astronomických pozorování.

9/35

Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za den.
- Země oběhne kolem Slunce jednou za rok.
- Délka dne a délka roku je však jiná, než jsme běžně zvyklí. Měli bychom brát délky podle astronomických pozorování.
- Naštěstí nás zajímají jen odhady, takže rok a den, jak je běžně používáme, bude stačit.

10/35

Diskuse

- Země se otočí díky své rotaci kolem své osy jednou za den.
- Země oběhne kolem Slunce jednou za rok.
- Délka dne a délka roku je však jiná, než jsme běžně zvyklí. Měli bychom brát délky podle astronomických pozorování.
- Naštěstí nás zajímají jen odhady, takže rok a den, jak je běžně používáme, bude stačit.
- Zaokrouhlovat budeme na celá čísla.

11/35

Získaná data

- siderický den (hvězdný den), po zaokrouhlení délka slunečního dne

$$T = 23 \text{ hod } 56 \text{ min } 4 \text{ s} \doteq 24 \text{ hod}$$

12/35

Příloha C – Rotace zeměkoule

Získaná data

- siderický den (hvězdný den), po zaokrouhlení délka slunečního dne

$$T = 23 \text{ hod } 56 \text{ min } 4 \text{ s} \doteq 24 \text{ hod}$$

- siderický rok (hvězdný rok), po zaokrouhlení běžný kalendářní rok

$$T = 365 \text{ dní } 6 \text{ hod } 9 \text{ min } 9 \text{ s} \doteq 365 \text{ dní}$$

13/35

Získaná data

- rychlost oběhu Země kolem Slunce

$$\text{více než } 100\,000 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$$

14/35

Získaná data

- rychlost oběhu Země kolem Slunce

$$\text{více než } 100\,000 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$$

- rychlost otáčení Země $v_0 = 1\,600 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
- poloměr Země

15/35

Získaná data

- rychlost oběhu Země kolem Slunce

$$\text{více než } 100\,000 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$$

- rychlost otáčení Země $v_0 = 1\,600 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
- poloměr Země $R_Z = 6\,378 \text{ km}$
- střední vzdálenost Země a Slunce

16/35

Získaná data

- rychlost oběhu Země kolem Slunce

$$\text{více než } 100\,000 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$$

- rychlost otáčení Země $v_0 = 1\,600 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
- poloměr Země $R_Z = 6\,378 \text{ km}$
- střední vzdálenost Země a Slunce

$$R_{ZS} = 149\,597\,887 \text{ km}$$

17/35

Výpočty

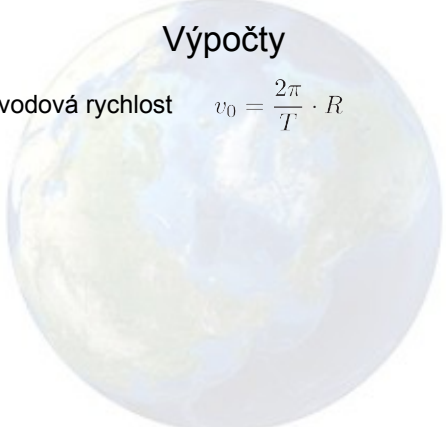
- obvodová rychlost

18/35

Příloha C – Rotace zeměkoule

Výpočty

- obvodová rychlost $v_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot R$

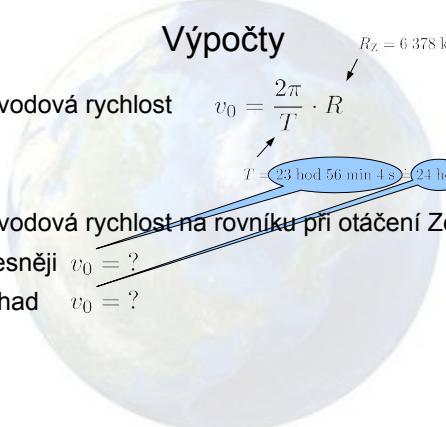


19/35

Výpočty

- obvodová rychlost $v_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot R$
- obvodová rychlost na rovníku při otáčení Země
přesněji $v_0 = ?$
odhad $v_0 = ?$

$R_Z = 6\,378\text{ km}$
 $T = 23\text{ hod } 56\text{ min } 4\text{ s} \approx 24\text{ hod}$

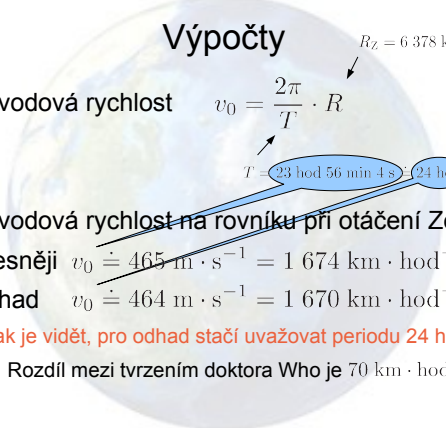


20/35

Výpočty

- obvodová rychlost $v_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot R$
- obvodová rychlost na rovníku při otáčení Země
přesněji $v_0 \doteq 465\text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1\,674\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
odhad $v_0 \doteq 464\text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1\,670\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
(jak je vidět, pro odhad stačí uvažovat periodu 24 hodin)
Rozdíl mezi tvrzením doktora Who je $70\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$

$R_Z = 6\,378\text{ km}$
 $T = 23\text{ hod } 56\text{ min } 4\text{ s} \approx 24\text{ hod}$

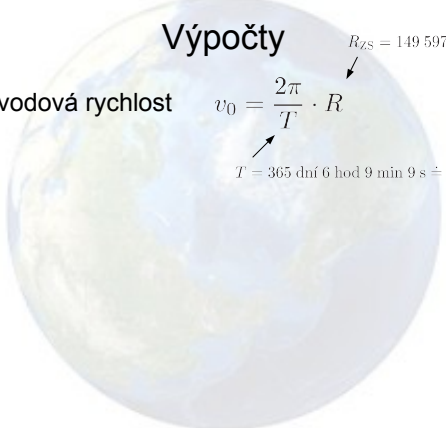


21/35

Výpočty

- obvodová rychlost $v_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot R$

$R_{ZS} = 149\,597\,887\text{ km}$
 $T = 365\text{ dní } 6\text{ hod } 9\text{ min } 9\text{ s} \doteq 365\text{ dní}$

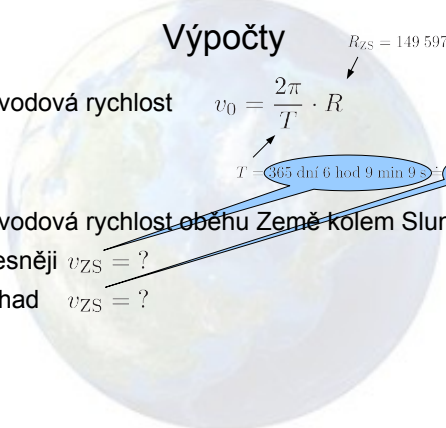


22/35

Výpočty

- obvodová rychlost $v_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot R$
- obvodová rychlost oběhu Země kolem Slunce
přesněji $v_{ZS} = ?$
odhad $v_{ZS} = ?$

$R_{ZS} = 149\,597\,887\text{ km}$
 $T = 365\text{ dní } 6\text{ hod } 9\text{ min } 9\text{ s} \approx 365\text{ dní}$

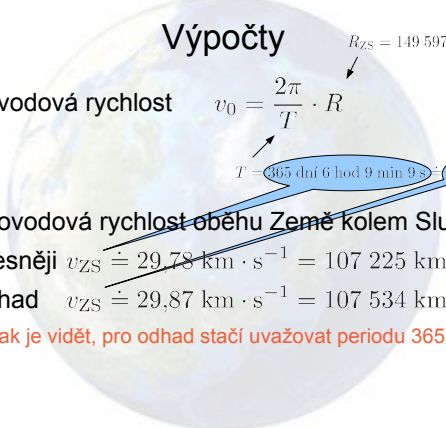


23/35

Výpočty

- obvodová rychlost $v_0 = \frac{2\pi}{T} \cdot R$
- obvodová rychlost oběhu Země kolem Slunce
přesněji $v_{ZS} \doteq 29,78\text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 107\,225\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
odhad $v_{ZS} \doteq 29,87\text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 107\,534\text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
(jak je vidět, pro odhad stačí uvažovat periodu 365 dní)

$R_{ZS} = 149\,597\,887\text{ km}$
 $T = 365\text{ dní } 6\text{ hod } 9\text{ min } 9\text{ s} \approx 365\text{ dní}$



24/35

Příloha C – Rotace zeměkoule

Výpočty

- *Doktor Who* se nikdy nevyjadřuje neurčitě. Proto můžeme zjistit, kde se ukázka odehrává.




25/35

Výpočty

- *Doktor Who* se nikdy nevyjadřuje neurčitě. Proto můžeme zjistit, kde se ukázka odehrává.

$$v_0 = \frac{2\pi \cdot R}{T}$$

$v_0 = 1\,600 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ $T = 23 \text{ hod } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$



26/35


Výpočty

- *Doktor Who* se nikdy nevyjadřuje neurčitě. Proto můžeme zjistit, kde se ukázka odehrává.

$$v_0 = \frac{2\pi \cdot R}{T}$$

$v_0 = 1\,600 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ $T = 23 \text{ hod } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$

$R = ?$



27/35


Výpočty

- *Doktor Who* se nikdy nevyjadřuje neurčitě. Proto můžeme zjistit, kde se ukázka odehrává.

$$v_0 = \frac{2\pi \cdot R}{T}$$

$v_0 = 1\,600 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ $T = 23 \text{ hod } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$

$R = 6\,095 \text{ km}$



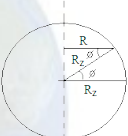
28/35

Výpočty

- využijeme definici funkce kosinu

$$\cos \phi = \frac{R}{R_Z}$$

- a spočteme zeměpisnou šířku



29/35

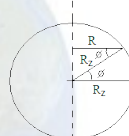
Výpočty

- využijeme definici funkce kosinu

$$\cos \phi = \frac{R}{R_Z}$$

$\leftarrow R = 6\,095 \text{ km}$
 $\leftarrow R_Z = 6\,378 \text{ km}$

- a spočteme zeměpisnou šířku

$$\phi \doteq \pm 17^\circ$$


30/35

Příloha C – Rotace zeměkoule

Závěr

- Kde byste odhadli, že to asi bude?

31/35

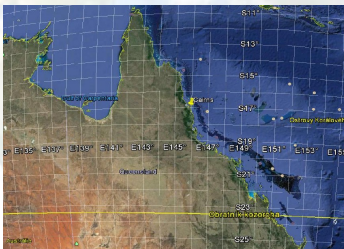
Závěr

- Kde byste odhadli, že to asi bude?
- Na severní polokouli asi ne, protože na 17° zeměpisné šířky se nevyskytuje žádná pouze anglicky mluvící země.
(Každý, kdo zná seriál, totiž ví, že *Doktor Who* má v oblibě především anglicky mluvící země. Vždyť je to také postava ze seriálu natočeném ve Velké Británii.)

32/35

Závěr

- Doktor Who se pravděpodobně nachází ve městě Cairns ve státě Queensland v Austrálii. Nikoliv v Anglii, jak by se bylo bývalo čekalo.



33/35

Poučení

- Ne vždy je potřeba počítat s přesností na jednu sekundu či metr. V případě odhadů si vystačíme i s hrubším zaokrouhlením na hodiny, dny nebo kilometry.

34/35

Poučení

- Ne vždy je potřeba počítat s přesností na jednu sekundu či metr. V případě odhadů si vystačíme i s hrubším zaokrouhlením na hodiny, dny nebo kilometry.
- Rotaci Země je možné pozorovat například pomocí stáčení roviny kmitu Foucaultova kyvadla v delším časovém intervalu. Není jí však možné cítit, neboť člověk nemá takový cit.

35/35

Příloha D – hybnost

Zákon zachování hybnosti

Newtonovy pohybové zákony,
hybnost

O čem to bude

- Spočítáme změnu hybnosti střelce po té, co vystřelí několik střel.

2/42

O čem to bude

- Spočítáme změnu hybnosti střelce po té, co vystřelí několik střel.
- Porovnáme změnu hybnosti vystřelené kulky s hybností zahozeného předmětu.

3/42

O čem to bude

- Spočítáme změnu hybnosti střelce po té, co vystřelí několik střel.
- Porovnáme změnu hybnosti vystřelené kulky s hybností zahozeného předmětu.
- Ukážeme si filmový trik.

4/42

O čem to bude

- Spočítáme změnu hybnosti střelce po té, co vystřelí několik střel.
- Porovnáme změnu hybnosti vystřelené kulky s hybností zahozeného předmětu.
- Ukážeme si filmový trik.
- A přidám i něco pro fanoušky Supermana.

5/42

Uvedení do situace

Jiří Kulhánek, STRONCIUM

«Potřebuju snížit rychlost a zároveň prosvištět před Měsícem, aby mne jeho gravitační pole zpomalilo a obtočilo dokola, ne vykoplo dál.

Mohl bych se svléci ze skafandru, rozebrat ho, a jednotlivé kusy házet pod patřičným úhlem. Jenže z výpočtu své síly a hmoty skafandru jsem došel k závěru, že když už daleký vesmír, tak oblečený.

Je to hloupé, ale ve vzduchoprázdne beztíži se zákonu akce a reakce díváte do očí až příliš zpřímá - můžete kraulovat jak diví, můžete tančit dervišské tance - pořád Magellan.

Další možnost je samozřejmě beretta - sice nevím, jakou přesně energii mi zpětný ráz předá, ale kope pěkně.»

6/42

Příloha D – hybnost

Uvedení do situace

Jiří Kulhánek, STRONCIUM

«Brzdit se nedá ani moc brzo, ani moc pozdě; k tomu jsem potřeboval zjistit, jak přesně mne zpomalí jedna rána - znovu tedy zaměřovací systémy, vyhodnocení těžiště, okamžiku, směru a...

...

Letěl jsem dál, zaměřovací systémy měřily úhly a já počítal, o kolik mne to zpomalilo. Hmm. Došel jsem k závěru, že když v přesně daném časovém rozmezí vystřelím přesně daným směrem přesný počet nábojů (přesně řečeno sedmnáct), přejdu na sestupnou dráhu a možná se o Měsíc ani moc nerozmáznu.»

7/42

Obrázek



Ilustrace, zdroj Andrea Brázdrová

8/42

Uvedení do situace



Film Total Recall z roku 2013

9/42

Diskuse

- Je nutné si uvědomit, že hlavní hrdina nesmí střílet, jak se mu zachce, musí vystřelit pouze v takovém směru, v němž pomyslná přímka trajektorie střely bude procházet jeho těžištěm.

10/42

Diskuse

- Je nutné si uvědomit, že hlavní hrdina nesmí střílet, jak se mu zachce, musí vystřelit pouze v takovém směru, v němž pomyslná přímka trajektorie střely bude procházet jeho těžištěm.
- V opačném případě by došlo k nežádoucí rotaci. Výstřelem, jehož směr by byl mimo těžiště, by došlo k vytvoření momentu setrvačnosti a hrdina by se začal točit.

11/42

Diskuse

- Je nutné si uvědomit, že hlavní hrdina nesmí střílet, jak se mu zachce, musí vystřelit pouze v takovém směru, v němž pomyslná přímka trajektorie střely bude procházet jeho těžištěm.
- V opačném případě by došlo k nežádoucí rotaci. Výstřelem, jehož směr by byl mimo těžiště, by došlo k vytvoření momentu setrvačnosti a hrdina by se začal točit.
- V uvedené filmové ukázce je tento fakt ignorován.

12/42

Příloha D – hybnost

Diskuse

- Změnu hybnosti budeme odhadovat na ukázce z knihy, protože si nejsem jist typem zbraně a hmotností střel ve filmové ukázce, také se mi nepodařilo spočítat počet vystřelených střel ve filmové ukázce.

13/42

Diskuse

- Změnu hybnosti budeme odhadovat na ukázce z knihy, protože si nejsem jist typem zbraně a hmotností střel ve filmové ukázce, také se mi nepodařilo spočítat počet vystřelených střel ve filmové ukázce.
- Hmotnost střel vzhledem k hmotnosti hrdiny zanedbáme.

14/42

Diskuse

- Změnu hybnosti budeme odhadovat na ukázce z knihy, protože si nejsem jist typem zbraně a hmotností střel ve filmové ukázce, také se mi nepodařilo spočítat počet vystřelených střel ve filmové ukázce.
- Hmotnost střel vzhledem k hmotnosti hrdiny zanedbáme.
- Rychlost hlavního hrdiny před střelbou řešit nebudeme, bude nás zajímat jen změna hybnosti, případně změna rychlosti hlavního hrdiny.

15/42

Teorie

- hybnost

$$p = m \cdot v$$
$$[p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

16/42

Teorie

- hybnost

$$p = m \cdot v$$
$$[p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- impuls síly $I = F \cdot \Delta t = \Delta p$
 $[I] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

17/42

Teorie

- hybnost

$$p = m \cdot v$$
$$[p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- impuls síly $I = F \cdot \Delta t = \Delta p$
 $[I] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

- vztah mezi silou a hybností $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{dp}{dt}$

18/42

Příloha D – hybnost

Získaná data

- hmotnost hlavního hrdiny s vybavením (skafandr) $m_h = 200 \text{ kg}$
- hmotnost střely ráže 9mm $m_s = 0,008 \text{ kg}$
- hmotnost přilby $m_p = 4,5 \text{ kg}$
- rychlost vystřelené kulky $v_s = 375 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- maximální rychlost hodů $v_p = 47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- počet výstřelů $n = 17$

19/42

Výpočty

- hybnost jedné střely

$$p_s = m_s \cdot v_s$$

$m_s = 0,008 \text{ kg}$
 $v_s = 375 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$p_s = ?$$

- hybnost hozené přilby

$$p_p = m_p \cdot v_p$$

$m_p = 4,5 \text{ kg}$
 $v_p = 47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$p_p = ?$$

20/42

Výpočty

- hybnost jedné střely

$$p_s = m_s \cdot v_s$$

$m_s = 0,008 \text{ kg}$
 $v_s = 375 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$p_s = 3 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- hybnost hozené přilby

$$p_p = m_p \cdot v_p$$

$m_p = 4,5 \text{ kg}$
 $v_p = 47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$p_p = 211,5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

21/42

Výpočty

zákon zachování hybnosti

- hybnost hrdiny před střelbou (pouze hrdina, střely zanedbáme)

$$p_h$$

22/42

Výpočty

zákon zachování hybnosti

- hybnost hrdiny před střelbou (pouze hrdina, střely zanedbáme)

$$p_h$$

- hybnost hrdiny po střelbě (střely se pohybují vpřed, hrdina byl zpětným rázem zpomalen) zanedbáme hmotnost střel, které byly vystřeleny

$$p_h - n \cdot p_s$$

- změna hybnosti hrdiny

$$\Delta p_h = m_h \cdot \Delta v_h$$

23/42

Výpočty

- změna hybnosti hrdiny po střelbě

$$\Delta p_h = (p_h - n \cdot p_s) - p_h$$

24/42

Příloha D – hybnost

Výpočty

- změna hybnosti hrdiny po střelbě

$$\Delta p_h = (p_h - n \cdot p_s) - p_h$$

- změna rychlosti hrdiny vlivem střelby

$$\Delta v_h = -\frac{n \cdot p_s}{m_h}$$

$n = 17$ $p_s = 3 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $m_h = 200 \text{ kg}$

$$\Delta v_h = ?$$

25/42

Výpočty

- změna hybnosti hrdiny po střelbě

$$\Delta p_h = (p_h - n \cdot p_s) - p_h$$

- změna rychlosti hrdiny vlivem střelby

$$\Delta v_h = -\frac{n \cdot p_s}{m_h}$$

$n = 17$ $p_s = 3 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $m_h = 200 \text{ kg}$

$$\Delta v_h \doteq -0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

26/42

Výpočty

- změna hybnosti hrdiny po odhozu přilby

$$\Delta p_h = (p_h - p_p) - p_h$$



27/42

Výpočty

- změna hybnosti hrdiny po odhozu přilby

$$\Delta p_h = (p_h - p_p) - p_h$$

- změna rychlosti hrdiny odhozením přilby

$$\Delta v_h = -\frac{p_p}{m_h}$$

$p_p = 211,5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $m_h = 200 \text{ kg}$

$$\Delta v_h = ?$$

28/42

Výpočty

- změna hybnosti hrdiny po odhozu přilby

$$\Delta p_h = (p_h - p_p) - p_h$$

- změna rychlosti hrdiny odhozením přilby

$$\Delta v_h = -\frac{p_p}{m_h}$$

$p_p = 211,5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $m_h = 200 \text{ kg}$

$$\Delta v_h \doteq -1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

29/42

Závěr

- Záporné znaménko u změny rychlosti znamená, že se hrdina zpomalí.

30/42

Příloha D – hybnost

Závěr

- Záporné znaménko u změny rychlosti znamená, že se hrdina zpomalí.
- Kdyby hrdina odhazoval věci, změnila by se jeho rychlost mnohem více než střelbou.

31/42

Závěr

- Záporné znaménko u změny rychlosti znamená, že se hrdina zpomalí.
- Kdyby hrdina odhazoval věci, změnila by se jeho rychlost mnohem více než střelbou.
- Dokonce i odhození pistole bude mít větší efekt než střelba.

32/42

Poučení

- Hybnost závisí na součinu hmotnosti a rychlosti. Pro co největší efekt zpomalení musí být právě tento součin co největší.

33/42

Poučení

- Hybnost závisí na součinu hmotnosti a rychlosti. Pro co největší efekt zpomalení musí být právě tento součin co největší.
- Kdyby hybnost střely nebyla tak malá, tak by díky 3. Newtonovu zákonu nebylo možné střílet z ručních zbraní, protože zpětný ráz by byl příliš velký a nebylo by jej možné ustát.

34/42

Hollywood a 3. Newtonův zákon



Seriál „Boží mýty“ S02E11 „Hnědá poznámka“

35/42

Superman a kulomet



Film „Superman Returns“ (2006)

36/42

Příloha D – hybnost

Superman a kulomet

- rotační kulomet je podobný kulometu Gau-8/A
- za 17 sekund střelby vystřeleno 1200 střel
- hmotnost střely $426 \text{ g} \doteq 0,4 \text{ kg}$
- úšťová rychlost $988 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

37/42

Superman a kulomet

- rotační kulomet je podobný kulometu Gau-8/A
- za 17 sekund střelby vystřeleno 1200 střel
- hmotnost střely $m_k = 426 \text{ g}$
- úšťová rychlost $v_k = 988 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- hmotnost herce $m_s = 100 \text{ kg}$
- superman během 17 sekund ušel 18 kroků, to je asi 13,6 m rychlostí $v_s = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

38/42

Superman a kulomet

- hybnost supermana

$$p_{\text{supermana}} = m_s \cdot v_s = 80 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$m_s = 100 \text{ kg}$ $v_s = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

39/42

Superman a kulomet

- hybnost supermana

$$p_{\text{supermana}} = m_s \cdot v_s = 80 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$m_s = 100 \text{ kg}$ $v_s = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

- hybnost střel

$$p_{\text{střel}} = m_k \cdot v_k \doteq 500\,000 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$m_k = 426 \text{ g}$ $v_k = 988 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

40/42

Superman a kulomet

Výsledek

?

41/42

Superman a kulomet

Výsledek

chlapec by si asi tak vesele nekráčel

42/42

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Gravitace na vesmírné stanici

odstředivá síla

O čem to bude

- Ukážeme si, jak by mohla odstředivá síla nahradit sílu tíhovou.
- Popíšeme si, jak by mohl vypadat život na vesmírné stanici, která se otáčí.

2/44

Uvedení do situace



Serial „Stav beztlíže“ S01E04

3/44

Diskuse

- Odstředivá síla v ukázce nahrazuje tíhovou sílu, můžeme zjistit, jak dlouhé je rameno s kajutami, a odhadnout, jak dlouhá může být vesmírná loď Antares. (Délka lodi je desetkrát větší než otočné rameno.)

4/44

Diskuse

- Odstředivá síla v ukázce nahrazuje tíhovou sílu, můžeme zjistit, jak dlouhé je rameno s kajutami, a odhadnout, jak dlouhá může být vesmírná loď Antares. (Délka lodi je desetkrát větší než otočné rameno.)
- Můžeme se také zamyslet nad tím, jak by život na podobné lodi mohl vypadat a co by bylo nezvyklé.

5/44

Získaná data

- Rameno s kajutami se otočí o $\frac{1}{4}$ otáčky za 5 s.
- perioda bude $T = ?$

6/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Získaná data

- Rameno s kajutami se otočí o $\frac{1}{4}$ otáčky za 5 s.
- perioda bude $T = 20$ s



7/44

Získaná data

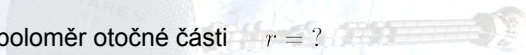
- Rameno s kajutami se otočí o $\frac{1}{4}$ otáčky za 5 s.
- perioda bude $T = 20$ s
- odstředivé zrychlení v kajutách $a_o = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$



8/44

Výpočet

- odstředivé zrychlení $a_o = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r$
- poloměr otočné části $r = ?$



9/44

Výpočet

- odstředivé zrychlení $a_o = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r$
- poloměr otočné části $r = \frac{a_o \cdot T^2}{4\pi^2}$ ← $T = 20$ s
- po dosazení $r = ?$



10/44

Výpočet

- odstředivé zrychlení $a_o = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r$
- poloměr otočné části $r = \frac{a_o \cdot T^2}{4\pi^2}$ ← $T = 20$ s
- po dosazení $r \doteq 100$ m



11/44

Závěr

- Rameno by mělo mít délku 100 m.



12/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Závěr

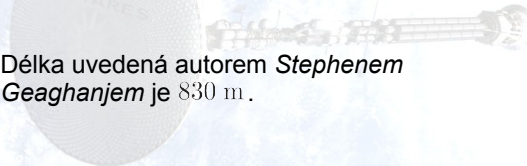
- Rameno by mělo mít délku 100 m.
- Délka celé lodi by mohla (z posledního záběru ukázky) být 1 km.



13/44

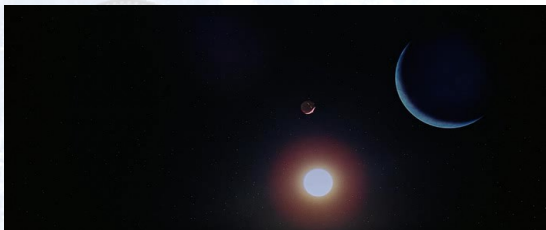
Závěr

- Rameno by mělo mít délku 100 m.
- Délka celé lodi by mohla (z posledního záběru ukázky) být 1 km.
- Délka uvedená autorem *Stephenem Geaghanem* je 830 m.



14/44

Magnetická síla nahrazující tíhu

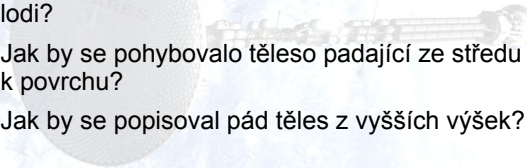


Film „2001: Vesmírná odysea“

15/44

Otázky

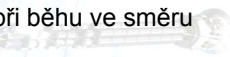
- Jak by mohl vypadat život na vesmírné lodi, kde by byla tíha nahrazena odstředivou silou?
- Jaká by byla odstředivá síla ve středu takové lodi?
- Jak by se pohybovalo těleso padající ze středu k povrchu?
- Jak by se popisoval pád těles z vyšších výšek?



16/44

Otázky

- Po jaké trajektorii by se pohyboval míč hozený z povrchu do výšky? (Uvažujme v soustavě spojené s povrchem.)
- Jak by byl ovlivněn běžec při běhu ve směru nebo protisměru otáčení?
- Jak by se chovala atmosféra na takové lodi?
- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodi, nebyla-li by atmosféra v nerotujících částech lodi pod tlakem?



17/44

Ráma (A.C. Clarke)



Počítačová simulace od Erica Brunetona, [<http://e Bruneton.free.fr/rama3/rama.html>]

18/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Babylon 5



Seriál „Babylon 5“ S02E22 „The Fall of Night“

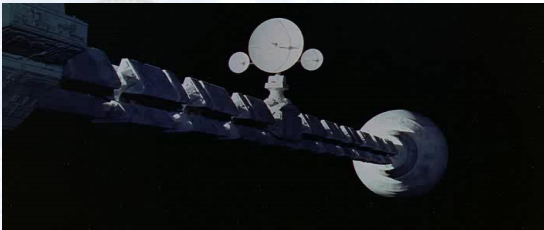
19/44

Babylon 5

- Podle ukázky by mělo na povrchu být odstředivé zrychlení $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- To je v rozporu s pohybem lidí, kteří se pohybují jako na povrchu Země. Rychlost otáčení by měla být třikrát větší než, je v ukázce popsáno.

20/44

Pohyb v rotační části



Film „2001: Vesmírná odysea“

21/44

Pohyb v rotační části



Film „Mission to Mars“

22/44

Odpovědi

- Jak by mohl vypadat život na vesmírné lodi, kde by byla tíha nahrazena odstředivou silou?
- Nad hlavou by bylo možné vidět lidi chodit vzhůru nohama.
- Mraky a oblačnost by se tvořila v blízkosti rotační osy.

23/44

Odpovědi

- Jaká by byla odstředivá síla ve středu takové lodi?
- V ose otáčení by byl stav beztlíže.

24/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Odpovědi

- Jak by se pohybovalo těleso padající ze středu k povrchu?
- Těleso by nepadalo v soustavě spojené s povrchem po přímce, ale po spirální trajektorii. To však jen v případě, že by těleso mělo počáteční rychlost, jinak by těleso bylo v klidu, pokud by nepůsobil odpor vzduchu.

25/44

Odpovědi

- Jak by se popisoval pád těles z vyšších výšek?
- Volný pád z pohledu rotujícího pozorovatele na povrchu lodi by byl popsán rovnicemi

$$x = +((R - h_0)\omega t - \cos(\omega t) - (R - h_0) \cdot \sin(\omega t))$$

$$y = -((R - h_0)\omega t \cdot \sin(\omega t) + (R - h_0) \cdot \cos(\omega t))$$

a doba dopadu $t_d = \frac{\sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}}{(R - h_0)\omega}$

R je poloměr otočné části vesmírné lodi, h_0 je výška, ze které těleso padá, ω je úhlová rychlost a t je čas.

26/44

Otázky

- Po jaké trajektorii by se pohyboval míč hozený z povrchu do výšky?
- Rovnice trajektorie šikmého vrhu z pohledu rotujícího pozorovatele na povrchu

$$x = + (t(v_1 \cdot \cos \alpha + v_0) \cdot \cos(\omega t) - (R - t \cdot v_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \sin(\omega t))$$

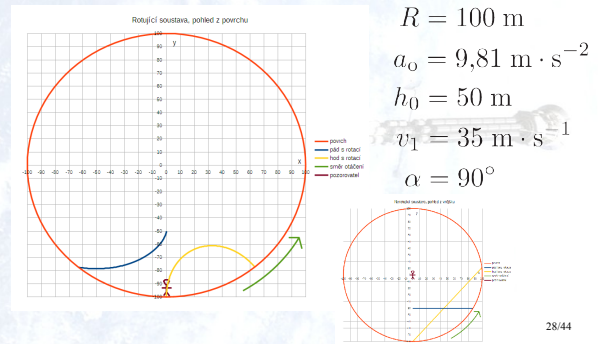
$$y = - (t(v_1 \cdot \cos \alpha + v_0) \cdot \sin(\omega t) + (R - t \cdot v_1 \cdot \sin \alpha) \cdot \cos(\omega t))$$

- a dobou dopadu $t_d = \frac{2R \cdot v_1 \cdot \sin \alpha}{v_1^2 + 2v_1 \cdot v_0 \cdot \cos \alpha + v_0^2}$

R je poloměr otočné části vesmírné lodi, ω je úhlová rychlost, t je čas, α je úhel, pod kterým těleso vrháme, v_0 je obvodová rychlost a v_1 je rychlost, kterou těleso vrháme

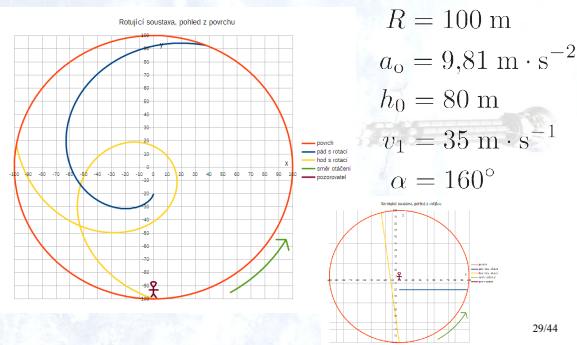
27/44

Trajektorie pádu a vrhu



28/44

Trajektorie pádu a vrhu



29/44

Otázky

- Jak by byl ovlivněn běžec při běhu ve směru nebo protisměru otáčení?
- Běžec by při pohybu ve směru rotace měl větší obvodovou rychlost, a tím pádem by se cítil díky větší odstředivé síle těžší.

30/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Otázky

- Jak by byl ovlivněn běžec při běhu ve směru nebo protisměru otáčení?
- Běžec by při pohybu ve směru rotace měl větší obvodovou rychlost, a tím pádem by se cítil díky větší odstředivé síle těžší.
- Při pohybu v protisměru rotace by se obvodová rychlost zmenšovala, a tím pádem by se díky snížené odstředivé síle cítil lehčí.

31/44

Otázky

- Jak by byl ovlivněn běžec při běhu ve směru nebo protisměru otáčení?
- V krajním případě, kdyby běžec byl schopen dosáhnout obvodové rychlosti, by se mohl ocitnout ve stavu beztlíže a po odrazu od povrchu by se začal pohybovat rovnoměrně přímočaře uvnitř lodi, dokud by opět nenarazil na rotující povrch.

32/44

Otázky

- Jak by se chovala atmosféra na takové lodi?
- U osy rotace by byl nižší tlak než na vnitřním povrchu.

33/44

Otázky

- Jak by se chovala atmosféra na takové lodi?
- U osy rotace by byl nižší tlak než na vnitřním povrchu.
- Vlhkost by pravděpodobně vytvářela oblaka par mezi osou rotace a povrchem.

34/44

Otázky

- Jak by se chovala atmosféra na takové lodi?
- U osy rotace by byl nižší tlak než na vnitřním povrchu.
- Vlhkost by pravděpodobně vytvářela oblaka par mezi osou rotace a povrchem.
- Déšť by padal po spirální trajektorii.

35/44

Odvození tlaku vzduchu

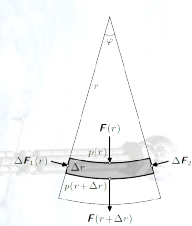
- stavová rovnice $p = \frac{m \cdot R_m \cdot T}{M_m \cdot V} = \frac{R_m \cdot T}{M_m} \rho$

36/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Odvození tlaku vzduchu

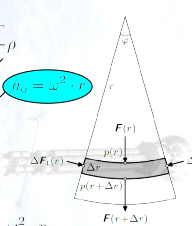
- stavová rovnice $p = \frac{m \cdot R_m \cdot T}{M_m \cdot V} = \frac{R_m \cdot T}{M_m} \rho$
- Pascalův zákon $\Delta p = \frac{\Delta F}{S} = \frac{\Delta m \cdot a_o}{\Delta V} = \rho \cdot a_o \cdot \Delta r$



37/44

Odvození tlaku vzduchu

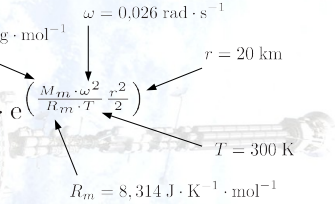
- stavová rovnice $p = \frac{m \cdot R_m \cdot T}{M_m \cdot V} = \frac{R_m \cdot T}{M_m} \rho$
- Pascalův zákon $\Delta p = \frac{\Delta F}{S} = \frac{\Delta m \cdot a_o}{\Delta V} = \rho \cdot a_o \cdot \Delta r$
- po úpravách a dosazení $\frac{\Delta p}{\Delta r} = \frac{M_m}{R_m \cdot T} \cdot p \cdot \omega^2 \cdot r$
- po integraci $p(r) = p(0) \cdot e^{\left(\frac{M_m \cdot \omega^2}{R_m \cdot T} \cdot \frac{r^2}{2}\right)}$



38/44

Odvození tlaku vzduchu


- po dosazení $M_m = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\omega = 0,026 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $r = 20 \text{ km}$, $T = 300 \text{ K}$, $R_m = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $p(r) = p(0) \cdot e^{\left(\frac{M_m \cdot \omega^2}{R_m \cdot T} \cdot \frac{r^2}{2}\right)}$
- $p(r) = 100\,000 \text{ Pa}$
- bude tlak v ose $p(0) \doteq 20\,000 \text{ Pa}$



39/44

Otázky

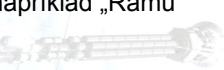
- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodí?
- Předpokládejme větší loď, například „Rámu“ s poloměrem 20 km a periodou otáčení 240 s.



40/44

Otázky


- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodí?
- Předpokládejme větší loď, například „Rámu“ s poloměrem 20 km a periodou otáčení 240 s.
- Pak tlak na povrchu bude 5× větší než v ose.



41/44

Otázky

- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodí?
- Předpokládejme větší loď například „Rámu“ s poloměrem 20 km a periodou otáčení 240 s.
- Pak tlak na povrchu bude 5× větší než v ose.
- Pokud je na povrchu 100 000 Pa, pak v ose bude 20 000 Pa.



42/44

Příloha E – pohyb na vesmírné stanici

Otázky

- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodi?
- Pokud je na povrchu 100 000 Pa, pak v ose bude 20 000 Pa.
- Bez kyslíku tam nebude možné dýchat, je to méně než na Mount Everestu.

43/44

Otázky

- Jaký by byl tlak vzduchu na povrchu a v ose otáčení lodi?
- Pokud je na povrchu 100 000 Pa, pak v ose bude 20 000 Pa.
- Bez kyslíku tam nebude možné dýchat, je to méně než na Mount Everestu.
- Ale přibližně stejně jako ve skafandru pro výstup do vesmíru. (Při tak nízkém tlaku musí kosmonaut dýchat čistý kyslík, aby se nemusel několik dní aklimatizovat.)

44/44

Příloha F – Riddikův skok na laně

Skok – Riddick

zákon zachování mechanické energie a
zákon zachování hybnosti

O čem to bude

- Ukážeme si aplikaci zákona zachování mechanické energie a zákona zachování hybnosti.

2/34

O čem to bude

- Ukážeme si aplikaci zákona zachování mechanické energie a zákona zachování hybnosti.
- Prověříme reálnost filmové ukázky.

3/34

Uvedení do situace



ukázka z filmu „Riddick: Kronika temna“

4/34

Diskuse

- Provaz je přivázán zhruba ve stejné výšce, ze které Riddick skáče.

5/34

Diskuse

- Provaz je přivázán zhruba ve stejné výšce, ze které Riddick skáče.
- Bude nás zajímat, jak vysoko se Riddick vyhoupne i s Kyrou.

6/34

Příloha F – Riddikův skok na laně

Diskuse

- Provaz je přivázán zhruba ve stejné výšce, ze které Riddick skáče.
- Bude nás zajímat, jak vysoko se Riddick vyhoupne i s Kyrou.
- Tíhové zrychlení nechť je $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

7/34

Získaná data

- délka lana $h_1 = 45 \text{ m}$

8/34

Získaná data

- délka lana $h_1 = 45 \text{ m}$
- hmotnost Riddicka $m_R = 95 \text{ kg}$

9/34

Získaná data

- délka lana $h_1 = 45 \text{ m}$
- hmotnost Riddicka $m_R = 95 \text{ kg}$
- hmotnost Kyry $m_K = 65 \text{ kg}$

10/34

Použité vztahy a vzorce

- potenciální energie $E_p = ?$
- kinetická energie $E_k = ?$
- hybnost $p = ?$

11/34

Použité vztahy a vzorce

- potenciální energie $E_p = m \cdot g \cdot h$
- kinetická energie $E_k = ?$
- hybnost $p = ?$

12/34

Příloha F – Riddikův skok na laně

Použité vztahy a vzorce

- potenciální energie $E_p = m \cdot g \cdot h$
- kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
- hybnost $p = ?$

13/34

Použité vztahy a vzorce

- potenciální energie $E_p = m \cdot g \cdot h$
- kinetická energie $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
- hybnost $p = m \cdot v$

14/34

Výpočty

- přeměna potenciální energie Riddicka na kinetickou energii v nejnižším místě zhrounutí

$$m_R \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m_R \cdot v_R^2$$

15/34

Výpočty

- přeměna potenciální energie Riddicka na kinetickou energii v nejnižším místě zhrounutí

$$m_R \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m_R \cdot v_R^2$$

$m_R = 95 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
 $h_1 = 45 \text{ m}$

- rychlost v nejnižším místě

$$v_R = ?$$

16/34

Výpočty

- přeměna potenciální energie Riddicka na kinetickou energii v nejnižším místě zhrounutí

$$m_R \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m_R \cdot v_R^2$$

$m_R = 95 \text{ kg}$
 $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
 $h_1 = 45 \text{ m}$

- rychlost v nejnižším místě

$$v_R = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

17/34

Výpočty

- hybnost před zachycením Kyry (Kyra je v klidu, Riddick se pohybuje)

$$p_h = m_R \cdot v_R + m_K \cdot v_K$$

18/34

Příloha F – Riddikův skok na laně

Výpočty

- hybnost před zachycením Kyry (Kyra je v klidu, Riddick se pohybuje)

$$p_h = m_R \cdot v_R + m_K \cdot v_K$$

- hybnost po zachycení Kyry (společná hybnost obou hrdinů)

$$p'_h = (m_R + m_K) \cdot v_{RK}$$

19/34

Výpočty

- zákon zachování hybnosti

$$p_h = p'_h$$

20/34

Výpočty

- zákon zachování hybnosti

$$m_R \cdot v_R + m_K \cdot v_K = (m_R + m_K) \cdot v_{RK}$$

21/34

Výpočty

- zákon zachování hybnosti

$$m_R \cdot v_R + m_K \cdot v_K = (m_R + m_K) \cdot v_{RK}$$

$v_R = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $v_K = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $m_R = 95 \text{ kg}$ $m_K = 65 \text{ kg}$

- rychlost obou hrdinů $v_{RK} = ?$

22/34

Výpočty

- zákon zachování hybnosti

$$m_R \cdot v_R + m_K \cdot v_K = (m_R + m_K) \cdot v_{RK}$$

$v_R = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $v_K = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 $m_R = 95 \text{ kg}$ $m_K = 65 \text{ kg}$

- rychlost obou hrdinů $v_{RK} \doteq 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

23/34

Výpočty

- přeměna kinetické energie obou hrdinů na potenciální energii

$$\frac{1}{2}(m_R + m_K) \cdot v_{RK}^2 = (m_R + m_K) \cdot g \cdot h$$

24/34

Příloha F – Riddikův skok na laně

Výpočty

- přeměna kinetické energie obou hrdinů na potenciální energii

$$\frac{1}{2}(m_R + m_K) \cdot v_{RK}^2 = (m_R + m_K) \cdot g \cdot h$$

$m_R = 95 \text{ kg}$ $m_K = 65 \text{ kg}$ $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
 $v_{RK} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

- výška, do které se oba hrdinové vyhoupnou

$$h = ?$$

25/34

Výpočty

- přeměna kinetické energie obou hrdinů na potenciální energii

$$\frac{1}{2}(m_R + m_K) \cdot v_{RK}^2 = (m_R + m_K) \cdot g \cdot h$$

$m_R = 95 \text{ kg}$ $m_K = 65 \text{ kg}$ $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
 $v_{RK} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

- výška, do které se oba hrdinové vyhoupnou

$$h = 16 \text{ m}$$

26/34

Výpočty

- úhel, pod nímž by měl být vidět provaz v závěrečné scéně (úhel berme od svislého směru)

$$\cos \phi = \frac{h_1 - h}{h_1}$$

$h_1 = 45 \text{ m}$ $h = 16 \text{ m}$

$$\phi = ?$$

27/34

Výpočty

- úhel, pod nímž by měl být vidět provaz v závěrečné scéně (úhel berme od svislého směru)

$$\cos \phi = \frac{h_1 - h}{h_1}$$

$h_1 = 45 \text{ m}$ $h = 16 \text{ m}$

$$\phi = 50^\circ$$

28/34

Závěr

- Na konci ukázky je provaz při vyhoupnutí natažen skoro vodorovně, což neodpovídá skutečnosti. Hlavní hrdinové by měli seskočit z lana zhruba o 30 m níž, než je na ukázce.

29/34

Závěr

- Na konci ukázky je provaz při vyhoupnutí natažen skoro vodorovně, což neodpovídá skutečnosti. Hlavní hrdinové by měli seskočit z lana zhruba o 30 m níž, než je na ukázce.
- Efekt vody vylité z čutory je také sporný. Tento postup se doporučuje v hořících budovách, ale vždy je nutné mít na sobě dostatek oblečení, které vodu nasaje, jinak voda z holého těla steče a k ochlazení těla prakticky nedojde.

30/34

Příloha F – Riddikův skok na laně

Poučení

- Zachytávat další osobu při rychlosti
 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 108 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
také není nejchytřejší nápad, Kyra by totiž Riddickovi pravděpodobně utrhla ruku.

31/34

Poučení

- Zachytávat další osobu při rychlosti
 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 108 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$
také není nejchytřejší nápad, Kyra by totiž Riddickovi pravděpodobně utrhla ruku.
- V ukázce (podíváme-li se na jednotlivé snímky) je doba potřebná pro zachycení Kyry
 $\Delta t = 0,3 \text{ s}$

32/34

Poučení

- Síla působící na Riddickovu ruku
$$F = m_R \frac{v_R - v_{RK}}{\Delta t} = 3800 \text{ N}$$
- což je $2,5 \times$ větší síla než síla potřebná ke zlomení paže.

33/34

Jak se na laně nehoupat!



<https://www.youtube.com/watch?v=CpJQJ4e2Un0>

34/34

Příloha G – Kavoritin

Newtonův gravitační zákon

antigravitace

O čem to bude

- Ukážeme si vlastnosti hypotetické látky pojmenované „kavoritin“, která dokáže odstínit gravitační pole.

2/47

O čem to bude

- Ukážeme si vlastnosti hypotetické látky pojmenované „kavoritin“, která dokáže odstínit gravitační pole.
- Spočítáme sílu působící na jablko potřené kavoritinem.

3/47

O čem to bude

- Ukážeme si vlastnosti hypotetické látky pojmenované „kavoritin“, která dokáže odstínit gravitační pole.
- Spočítáme sílu působící na jablko potřené kavoritinem.
- Numericky spočítáme, jak by se chovala atmosféra nad rozlitym kavoritinem.

4/47

Ukázka – experiment s jablkem



ukázka z filmu First Men in the Moon

5/47

Diskuse

- Spodní potřená strana jablka odstíní gravitační pole, vzduch nad ním tak ztratí svoji tíhu

6/47

Příloha G – Kavoritin

Diskuse

- Spodní potřená strana jablka odstíní gravitační pole, vzduch nad ním tak ztratí svoji tíhu.
- Tlak vzduchu působící zespodu na potřenou plochu jablka vytvoří sílu, která jablko bude tlačit směrem vzhůru. (Z horní části na jablko vzduch tlačit nebude, neboť není přitahován gravitací k Zemi.)

7/47

Získaná data

- průměr jablka $d_j = 10 \text{ cm}$

8/47

Získaná data

- průměr jablka $d_j = 10 \text{ cm}$
- hmotnost jablka $m = 0,36 \text{ kg}$

9/47

Získaná data

- průměr jablka $d_j = 10 \text{ cm}$
- hmotnost jablka $m = 0,36 \text{ kg}$
- atmosférický tlak $p = 101 \text{ kPa}$

10/47

Výpočty – jablko

- plocha, na kterou působí tlak vzduchu

$$S_j = \pi \cdot \left(\frac{d_j}{2}\right)^2 = ?$$

11/47

Výpočty – jablko

- plocha, na kterou působí tlak vzduchu

$$S_j = \pi \cdot \left(\frac{d_j}{2}\right)^2 = 78,5 \text{ cm}^2$$

- síla působící na jablko

$$F = p \cdot S_j = ?$$

$p = 101 \text{ kPa}$

12/47

Příloha G – Kavoritin

Výpočty – jablko

- plocha, na kterou působí tlak vzduchu

$$S_j = \pi \cdot \left(\frac{d_j}{2}\right)^2 = 78,5 \text{ cm}^2$$

$d_j = 10 \text{ cm}$

- síla působící na jablko

$$F = p \cdot S_j \doteq 793 \text{ N}$$

$p = 101 \text{ kPa}$

13/47

Závěr – jablko

- zrychlení jablka v atmosféře

$$a = \frac{F}{m} \doteq 2\,200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$F = 793 \text{ N}$
 $m = 0,36 \text{ kg}$

14/47

Závěr – jablko

- Bylo-li by jablko potřené celé, pak by na jeho vnitřek nemohla odnikud působit žádná gravitační síla. Protože však jablko neztrácí hmotnost (nepůsobí na něj pouze gravitační síla), budou na něj dále působit setrvačné síly. Je-li obvodová rychlost otáčení Země řádově stovky metrů za sekundu a rychlost Země při oběhu kolem Slunce řádově desítky kilometrů za sekundu, pak by se mělo jablko pohybovat ve směru výslednice těchto vektorů rychlostí.

15/47

Ukázka – atmosférický komín



ukázka z filmu First Men in the Moon

16/47

Získaná data

- poloměr rozlité louže kavoritinu

$$r_p = 1 \text{ m}$$

17/47

Získaná data

- poloměr rozlité louže kavoritinu

$$r_p = 1 \text{ m}$$

- poloměr Země

$$R_Z = 6\,378 \text{ km}$$

18/47

Příloha G – Kavoritin

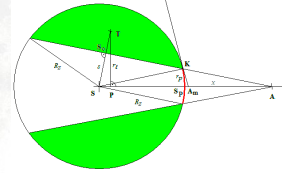
Získaná data

- poloměr rozlité louže kavoritinu $r_p = 1 \text{ m}$
- poloměr Země $R_Z = 6378 \text{ km}$
- průměrná hustota zeměkoule $\rho = 5521 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

19/47

Diskuse

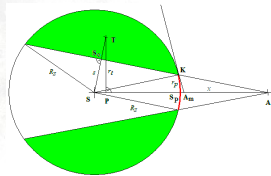
- body A_m a S_p jsou prakticky totožné, protože $R_Z \gg h$, ač to podle obrázku nevypadá



20/47

Diskuse

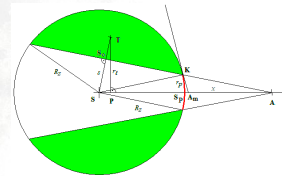
- body A_m a S_p jsou prakticky totožné, protože $R_Z \gg h$, ač to podle obrázku nevypadá
- vzdálenost těžiště zelené úseče od středu Země nebudeme počítat přesně, ale použijeme velmi hrubě odhadnutý vztah $x_t \approx 0,58 \cdot s + 0,42 \cdot R_Z$



21/47

Diskuse

- Z praktických důvodů místo vzdálenosti x použijeme h .
- Hodnota bezrozměrné veličiny h odpovídá výšce nad středem rozlitého kavoritinu, protože $r_p = 1 \text{ m}$.



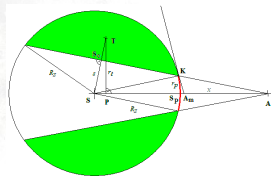
22/47

Výpočty

- z podobnosti $\triangle AKS_p$ a $\triangle ASS_o$

$$s = \frac{r_p(R_Z + x)}{\sqrt{r_p^2 + x^2}}$$

$r_p = 1 \text{ m}$



23/47

Výpočty

- z podobnosti $\triangle AKS_p$ a $\triangle ASS_o$

$$s = \frac{r_p(R_Z + x)}{\sqrt{r_p^2 + x^2}}$$

$r_p = 1 \text{ m}$

- protože uvažujeme, že $R_Z \gg x$ můžeme zanedbat člen x v čitateli
- výsledek po substituci $s = \frac{R_Z}{\sqrt{1 + h^2}}$

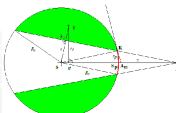
$$h = \frac{x}{r_p}$$

24/47

Příloha G – Kavoritin

Výpočty

- pro plochu zelené úseče pláť



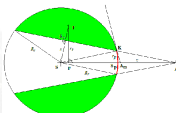
$$S = R_Z^2 \cdot \arccos\left(\frac{s}{R_Z}\right) - s \cdot \sqrt{R_Z^2 - s^2}$$

$$s = \frac{R_Z}{\sqrt{1+h^2}}$$

25/47

Výpočty

- pro plochu zelené úseče pláť
- po úpravě



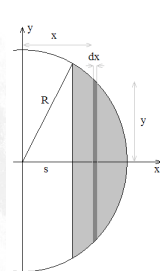
$$S = R_Z^2 \cdot \arccos\left(\frac{s}{R_Z}\right) - s \cdot \sqrt{R_Z^2 - s^2}$$

$$S = R_Z^2 \left(\arccos\left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}}\right) - \frac{h}{(1+h^2)} \right)$$

26/47

Výpočet těžiště

- vzdálenost těžiště od počátku souřadnic

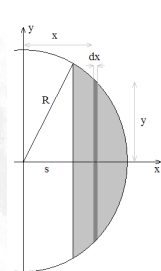


$$x_t = \frac{1}{S} \int_S x \, dS$$

27/47

Výpočet těžiště

- vzdálenost těžiště od počátku souřadnic
- pláť



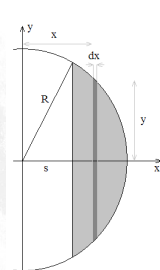
$$x_t = \frac{1}{S} \int_S x \, dS$$

$$dS = 2y \cdot dx = 2\sqrt{R^2 - x^2} \, dx$$

28/47

Výpočet těžiště

- vzdálenost těžiště od počátku souřadnic
- pláť
- pak po dosazení



$$x_t = \frac{1}{S} \int_S x \, dS$$

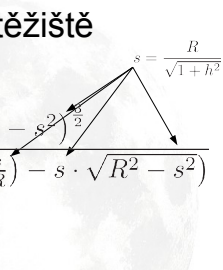
$$dS = 2y \cdot dx = 2\sqrt{R^2 - x^2} \, dx$$

$$x_t = \frac{2}{S} \int_s^R x \sqrt{R^2 - x^2} \, dx$$

29/47

Výpočet těžiště

- po integraci



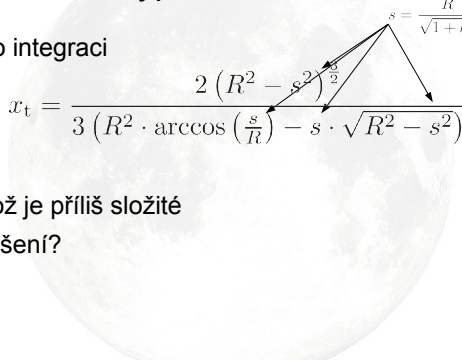
$$x_t = \frac{2(R^2 - s^2)^{3/2}}{3(R^2 \cdot \arccos(\frac{s}{R}) - s \cdot \sqrt{R^2 - s^2})}$$

30/47

Příloha G – Kavoritin

Výpočet těžiště

- po integraci

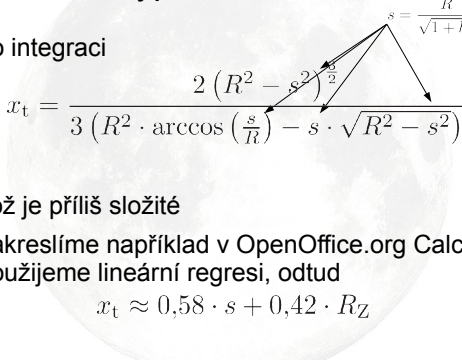
$$x_t = \frac{2 (R^2 - s^2)^{\frac{3}{2}}}{3 (R^2 \cdot \arccos(\frac{s}{R}) - s \cdot \sqrt{R^2 - s^2})}$$


- což je příliš složité
- řešení?

31/47

Výpočet těžiště

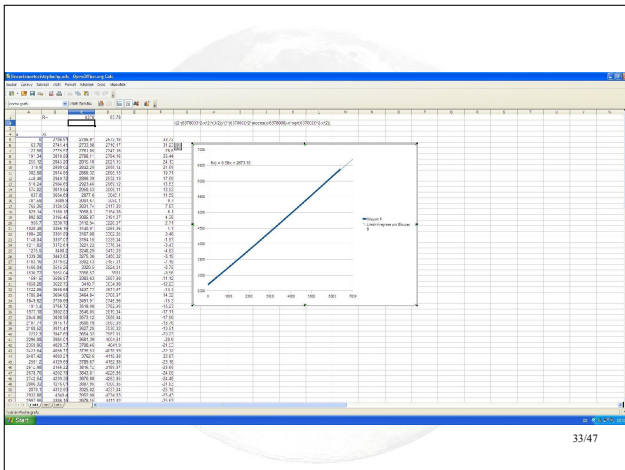
- po integraci

$$x_t = \frac{2 (R^2 - s^2)^{\frac{3}{2}}}{3 (R^2 \cdot \arccos(\frac{s}{R}) - s \cdot \sqrt{R^2 - s^2})}$$


- což je příliš složité
- nakreslíme například v OpenOffice.org Calcu a použijeme lineární regresi, odtud

$$x_t \approx 0,58 \cdot s + 0,42 \cdot R_Z$$

32/47



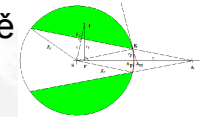
33/47

Výpočet těžiště

- přepočítáme na vzdálenost od osy SA

$$r_t = \frac{x_t \cdot h}{\sqrt{1 + h^2}}$$

$$x_t \approx 0,58 \cdot s + 0,42 \cdot R_Z$$



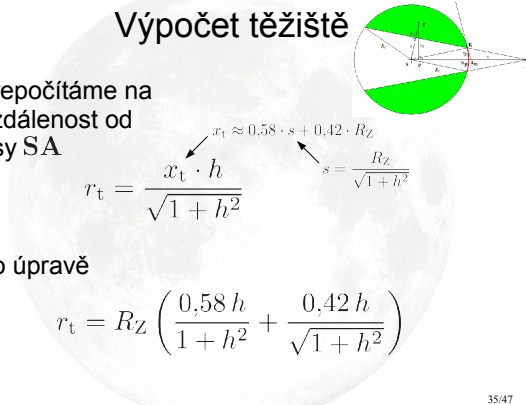
34/47

Výpočet těžiště

- přepočítáme na vzdálenost od osy SA

$$r_t = \frac{x_t \cdot h}{\sqrt{1 + h^2}}$$

- po úpravě

$$r_t = R_Z \left(\frac{0,58 h}{1 + h^2} + \frac{0,42 h}{\sqrt{1 + h^2}} \right)$$


35/47

Výpočty

- hmotnost rotační plochy

$$r_t = R_Z \left(\frac{0,58 h}{1 + h^2} + \frac{0,42 h}{\sqrt{1 + h^2}} \right)$$

$$m = 2\pi r_t \cdot S \cdot \rho$$

$$S = R_Z^2 \left(\arccos\left(\frac{1}{\sqrt{1 + h^2}}\right) - \frac{h}{(1 + h^2)} \right)$$

$$\rho = 5521 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

36/47

Příloha G – Kavoritin

Výpočty

- hmotnost rotační plochy $r_t = R_Z \left(\frac{0,58 h}{1+h^2} + \frac{0,42 h}{\sqrt{1+h^2}} \right)$

$$m = 2\pi r_t \cdot S \cdot \rho$$

$\rho = 5521 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$S = R_Z^2 \left(\arccos \left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}} \right) - \frac{h}{(1+h^2)} \right)$$

- intenzita gravitačního pole

$$K = \frac{m}{(R_Z + h)^2}$$

← opět zanedbáme malý člen

37/47

Výpočty

- a hurá, máme výsledek

$$K = 2\pi\rho R_Z \left(\frac{0,58 h}{1+h^2} + \frac{0,42 h}{\sqrt{1+h^2}} \right) \cdot \left(\arccos \left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}} \right) - \frac{h}{1+h^2} \right)$$

38/47

Výpočty

- a hurá, máme výsledek

$$K = 2\pi\rho R_Z \left(\frac{0,58 h}{1+h^2} + \frac{0,42 h}{\sqrt{1+h^2}} \right) \cdot \left(\arccos \left(\frac{1}{\sqrt{1+h^2}} \right) - \frac{h}{1+h^2} \right)$$

- graf závislosti K na h je však velmi těžké vykreslit, pomůžeme si například na stránce www.wolframalpha.com

39/47

40/47

Závěr

- graf intenzity gravitačního pole v závislosti na výšce nad kavoritinem

41/47

Závěr

- graf intenzity gravitačního pole pro větší výšky
- graf neodpovídá, neboť intenzita gravitačního pole by se s výškou nad Zemí měla snižovat a v nekonečnu by měla být nulová

42/47

Příloha G – Kavoritin

Závěr

- Při řešení složitých úloh a výpočtů se často používá různých zanedbání a linearizací.

43/47

Závěr

- Při řešení složitých úloh a výpočtů se často používá různých zanedbání a linearizací.
- Ne vždy však výsledný graf popisuje řešenou situaci správně. V našem případě je výsledná rovnice platná pouze pro výšky výrazně menší, než je poloměr Země. Ve větších výškách přestává platit.

44/47

Poučení

- Gravitační působení nelze odstínit. Není ani znám žádný materiál, který by gravitační pole dokázal alespoň nepatrně zeslabit.

45/47

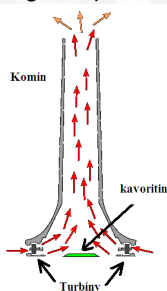
Poučení

- Gravitační působení nelze odstínit. Není ani znám žádný materiál, který by gravitační pole dokázal alespoň nepatrně zeslabit.
- Rovnice plynoucí ze zanedbání neplatí obecně, ale pouze v daných omezeních. Je velmi důležité vědět, jaké jsou hranice použití, jinak se dopustíme hrubé chyby.

46/47

Možnost uplatnění kavoritinu

- výroba čisté energie například takto



47/47

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Newtonův gravitační zákon

pohyb rakety v nehomogenním gravitačním poli Země a Měsíce

O čem to bude

- ukážeme si rovnici platnou pro pohyb rakety s proměnnou hmotností (Ciolkovského rovnice)

O čem to bude

- ukážeme si rovnici platnou pro pohyb rakety s proměnnou hmotností (Ciolkovského rovnice)
- ukážeme si aplikaci potenciální gravitační energie (gravitačního potenciálu)

O čem to bude

- ukážeme si rovnici platnou pro pohyb rakety s proměnnou hmotností (Ciolkovského rovnice)
- ukážeme si aplikaci potenciální gravitační energie (gravitačního potenciálu)
- uhádneme rychlost rakety podle zadání

O čem to bude

- ukážeme si rovnici platnou pro pohyb rakety s proměnnou hmotností (Ciolkovského rovnice)
- ukážeme si aplikaci potenciální gravitační energie (gravitačního potenciálu)
- uhádneme rychlost rakety podle zadání
- a dosazením do Ciolkovského rovnice odhadneme potřebné množství paliva pro let

Uvedení do situace

Jiří Kulhánek, STRONCIUM

«LONGIN vypadá fakt impozantně: kolem čtyřmetrového nosníku jsou nad sebou čtyři a čtyři kompozitové lahve, od kterých vedou pancéřové hadice do tří autogenových směšovačů a odtud dolů k tryskám - láhev s heliem je napřič nahoře za sedačkou – helium dá palivu potřebný tlak. Řídit se to bude natáčením trysek (jsou přidělané na homokinetickém kloubu z nápravy průzkumného robota) a přivíráním kohoutů.

...
A protože mi bylo jasné, že bez stabilizace se LONGIN bude točit všude možné, jen ne kam budu chtít, propočítal jsem to a vzal patnáct pevných disků»

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Uvedení do situace

Jiří Kulhánek, STRONCIUM

«Nahofe nad lahvemi je již zmíněné sedadlo, před ním křížem tyčka na opření nohou a nad ní řídicí panel se smetákem a „dálkovými ovládacími elementy“ vedoucími dolů ke kohoutům směšovačů.
...

Potřeboval jsem nabrat únikovou rychlost
...

přetížení nebylo nijak zlé, a když jsem po sto dvaceti sekundách vypnul motor, bylo jasné, že jsem zvítězil.
...

K Zemi to trvalo pět dní...»

7/45

Diskuse

- Pro jednoduchost budeme uvažovat, že Země ani Měsíc se nepohybují a jsou v konstantní vzdálenosti od sebe v klidu (ani se neotáčí). Uvažovat budeme pouze jejich gravitační potenciály.

8/45

Diskuse

- Pro jednoduchost budeme uvažovat, že Země ani Měsíc se nepohybují a jsou v konstantní vzdálenosti od sebe v klidu (ani se neotáčí). Uvažovat budeme pouze jejich gravitační potenciály.
- Z doby letu z Měsíce na Zemi metodou pokus omyl určíme potřebnou únikovou rychlost rakety z Měsíce. Takto získanou rychlost dosadíme do Ciolkovského rovnice a z ní budeme moci vypočítat potřebnou hmotnost paliva na akceleraci.

9/45

Získaná data

- odhad celkové hmotnosti rakety bez paliva

$$m_0 \doteq 500 \text{ kg}$$

10/45

Získaná data

- odhad celkové hmotnosti rakety bez paliva

$$m_0 \doteq 500 \text{ kg}$$

- specifický impuls pro spalování monomethylhydrazinu s oxidem dusičitým

$$I_s = 300 \text{ s}$$

11/45

Získaná data

- odhad celkové hmotnosti rakety bez paliva

$$m_0 \doteq 500 \text{ kg}$$

- specifický impuls pro spalování monomethylhydrazinu s oxidem dusičitým

$$I_s = 300 \text{ s}$$

- doba zážehu (spalování paliva)

$$t_a = 120 \text{ s}$$

12/45

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Získaná data

- gravitační zrychlení na povrchu Země
 $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

13/45

Získaná data

- gravitační zrychlení na povrchu Země
 $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- gravitační zrychlení na povrchu Měsíce
 $g_M = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

14/45

Získaná data

- gravitační zrychlení na povrchu Země
 $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- gravitační zrychlení na povrchu Měsíce
 $g_M = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- hmotnost rakety s palivem
 $m = m_0 + m_p$

15/45

Výpočet hmotnosti paliva

- tažná síla rakety $F_t = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{t_a}$

16/45

Výpočet hmotnosti paliva

- tažná síla rakety $F_t = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{t_a}$
- síla působící na raketu je rozdílem tažné síly a gravitační síly
 $F = F_t - F_g$

17/45

Výpočet hmotnosti paliva

- tažná síla rakety $F_t = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{t_a}$
- síla působící na raketu je rozdílem tažné síly a gravitační síly
 $F = F_t - F_g$
- podle 2. Newtonova zákona a definice zrychlení
 $F = m \cdot a = m \frac{v - v_0}{t_a}$

18/45

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Výpočet hmotnosti paliva

- dosazením do

$$F = m \frac{v - v_0}{t_a} \quad F_g = g_M \cdot m$$

$$F = F_t - F_g$$

$$F_t = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{t_a}$$

- získáme výsledný vztah

$$v = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{m_0 + m_p} - g_M \cdot t_a + v_0$$

19/45

Výpočet hmotnosti paliva

- dosazením do

$$F = m \frac{v - v_0}{t_a} \quad F_g = g_M \cdot m$$

$$F = F_t - F_g$$

$$F_t = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{t_a}$$

- získáme výsledný vztah

$$v = I_s \cdot g \cdot \frac{m_p}{m_0 + m_p} - g_M \cdot t_a + v_0$$

- Výsledek je však nepřesný, neboť nezohledňuje ubývající palivo.

20/45

Výpočet hmotnosti paliva

- Rovnici pro výpočet rychlosti v závislosti na použitém palivu popisuje Ciolkovského rovnice

$$v = I_s \cdot g \cdot \ln \frac{m_0 + m_p}{m_p} - g_M \cdot t_a + v_0$$

Rovnici nebudeme odvozovat.

21/45

Výpočet hmotnosti paliva

- Rovnici pro výpočet rychlosti v závislosti na použitém palivu popisuje Ciolkovského rovnice

$$v = I_s \cdot g \cdot \ln \frac{m_0 + m_p}{m_p} - g_M \cdot t_a + v_0$$

- Pro malé hodnoty hmotnosti paliva je možné použít i předchozí variantu.
- Počáteční rychlost zvolme $v_0 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Součin $I_s \cdot g$ se označuje jako specifický impuls síly.

22/45

Specifický impuls

- Specifický impuls vynásobený gravitačním zrychlením na povrchu Země udává efektivní výtokovou rychlost spalin nebo také poměr tažné síly k množství spotřebovaného paliva za sekundu. Lze také říci, že jde o poměr impulsu síly k hmotnosti paliva.

$$[I_s \cdot g] = \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$$

- jednotka specifického impulsu je

$$[I_s] = \text{s}$$

23/45

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$

24/45

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
- hmotnost Měsíce $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

25/45

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
- hmotnost Měsíce $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- hmotnost Země $M_Z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

26/45

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
- hmotnost Měsíce $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- hmotnost Země $M_Z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- poloměr Měsíce $R_M = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$

27/45

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
- hmotnost Měsíce $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- hmotnost Země $M_Z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- poloměr Měsíce $R_M = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$
- poloměr Země $R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}$

28/45

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
- hmotnost Měsíce $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- hmotnost Země $M_Z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- poloměr Měsíce $R_M = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$
- poloměr Země $R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}$
- gravitační zrychlení na Měsíci $g_M = 1,622 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

29/45

Získaná data

- vzdálenost Země a Měsíce $a = 3,844 \cdot 10^8 \text{ m}$
- hmotnost Měsíce $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
- hmotnost Země $M_Z = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- poloměr Měsíce $R_M = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m}$
- poloměr Země $R_Z = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m}$
- gravitační zrychlení na Měsíci $g_M = 1,622 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- gravitační zrychlení na Zemi $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

30/45

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Výpočet rychlosti

- Rychlost odvodíme ze zákona zachování mechanické energie

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

31/45

Výpočet rychlosti

- Rychlost odvodíme ze zákona zachování mechanické energie

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

- potenciální energie se vypočte

$$E_p = \varphi(r) = -\varkappa \frac{M_M}{r} - \varkappa \frac{M_Z}{a-r}$$

32/45

Výpočet rychlosti

- Rychlost odvodíme ze zákona zachování mechanické energie

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

- potenciální energie se vypočte

$$E_p = \varphi(r) = -\varkappa \frac{M_M}{r} - \varkappa \frac{M_Z}{a-r}$$

- $\varphi(r)$ označuje gravitační potenciál

33/45

Výpočet rychlosti

- Po dosazení

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

$$\varphi(r) = -\varkappa \frac{M_M}{r} - \varkappa \frac{M_Z}{a-r}$$

- dostaneme výsledný vztah

$$v = \sqrt{v_1^2 + 2\varphi(R_M) - 2\varphi(r)}$$

- v_1 označuje rychlost rakety po vypnutí motorů
- v označuje rychlost rakety ve vzdálenosti r

34/45

Výpočet času

- Dobu letu spočítáme z předchozího vztahu integrací (jinak to bohužel nejde)

$$432\,000 = \int_{R_M}^{a-R_Z} \frac{dr}{\sqrt{v_1^2 + 2\varphi(R_M) - 2\varphi(r)}}$$

432 000 s = 5 dní

35/45

Výpočet času

- Dobu letu spočítáme z předchozího vztahu integrací (jinak to bohužel nejde)

$$432\,000 = \int_{R_M}^{a-R_Z} \frac{dr}{\sqrt{v_1^2 + 2\varphi(R_M) - 2\varphi(r)}}$$

432 000 s = 5 dní

- Nyní zbývá určit v_1 tak, aby levá a pravá strana rovnice byly stejné. Zkusme rovnici dosadit do Wolfram Alpha a hodnotu v_1 postupně hádat.

36/45

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Výpočet ve Wolfram

- Do wolfram zadáme do příkazové řádky toto:

$$\text{integrate } 1/\sqrt{2 + 2 \cdot (6.67e-11 \cdot (-7.35e22 / 1.738e6 - 5.97e24 / (3.844e8 - 1.738e6))) - 2 \cdot (6.67e-11 \cdot (-7.35e22 / r - 5.97e24 / (3.844e8 - r)))}$$
 from $r=1.738e6$ to $(3.844e8 - 6.378e6)$
- za x dosazujeme postupně různé hodnoty, dokud výsledek nebude zhruba roven 432 000.

37/45

Po několika (mnoha) pokusech

- Hurá máme výsledek!

38/45

Po několika (mnoha) pokusech

- Hurá máme výsledek!

$$v_1 = 2\,285,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

39/45

Po několika (mnoha) pokusech

- Hurá máme výsledek!

$$v_1 = 2\,285,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- A teď už jen stačí dosadit do Ciolkovského rovnice a určit potřebné množství paliva.

$$v = I_s \cdot g \cdot \ln \frac{m_0 + m_p}{m_p} - g_M \cdot t_a$$

40/45

Po několika (mnoha) pokusech

- Hurá máme výsledek!

$$v_1 = 2\,285,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

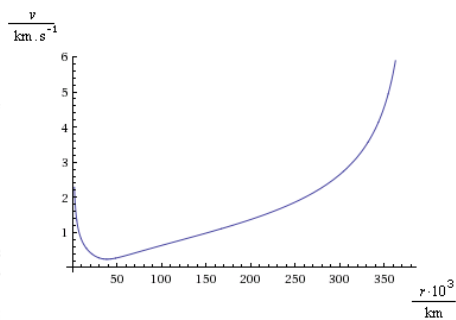
- A teď už jen stačí dosadit do Ciolkovského rovnice a určit potřebné množství paliva.

$$v = I_s \cdot g \cdot \ln \frac{m_0 + m_p}{m_p} - g_M \cdot t_a$$

- po úpravě a dosazení $m_p \doteq 660 \text{ kg}$

41/45

Závislost rychlosti na vzdálenosti



42/45

Příloha H – Let rakety z Měsíce na Zemi

Závěr

- Ve vzdálenosti $r \doteq 38,39 \cdot 10^6 \text{ m}$ od středu Měsíce směrem k Zemi se bude raketa pohybovat nejmenší rychlostí, a to $v \doteq 238,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

43/45

Závěr

- Ve vzdálenosti $r \doteq 38,39 \cdot 10^6 \text{ m}$ od středu Měsíce směrem k Zemi se bude raketa pohybovat nejmenší rychlostí, a to $v \doteq 238,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Těsně před dopadem na Zemi bude rychlost rakety $v \doteq 11\,063 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

44/45

Poučení

- Při pohybu rakety na reaktivní pohon dochází k úbytku její hmotnosti vlivem spalin, které raketu pohánějí. Čím více paliva bude spotřebováno, tím menší bude její hmotnost a tím větší její rychlost.

45/45

Příloha I – moment hybnosti

Moment hybnosti motorové pily a gyroskop

mechanika tuhého tělesa, stav beztlíže

O čem to bude

- Odhadneme moment hybnosti motorové pily a zkusíme odhadnout její chování ve stavu beztlíže.

2/68

O čem to bude

- Odhadneme moment hybnosti motorové pily a zkusíme odhadnout její chování ve stavu beztlíže.
- Ukážeme si možnosti, jak natáčet družice ve stavu beztlíže.

3/68

O čem to bude

- Odhadneme moment hybnosti motorové pily a zkusíme odhadnout její chování ve stavu beztlíže.
- Ukážeme si možnosti, jak natáčet družice ve stavu beztlíže.
- A vysvětlíme si, zda je možné se ve stavu beztlíže otočit, aniž bychom se od něčeho odrazili.

4/68

Uvedení do situace – motorová pila

Jiří Kulhánek, STRONCIUM

«Klid, Longine, teď vpravo, desetimetrový tunel s výhledem na Saturn, těžký oddělovací poklop a jsi v Zeleném – a rovnou v druhé ubikaci.

...

V posteli byla schována spousta věcí – například wakizaši, krátký japonský meč. Další předmět jsem identifikoval až po nedlouhé úvaze: tím se v předledové době sklízela les (a i když si nejsem jistý, jestli se o lesu říkalo sklízet, jsem si jistý, že téhle věci se říkalo motorová pila) – představil jsem si, jak by na lesníka – kráječe působil v beztlíži točivý moment, a shledal pilu naprosto nezpůsobitou.»

5/68

Diskuse

- Zanedbáme moment hybnosti samotného motoru motorové pily a bude nás zajímat pouze moment hybnosti řetězu. S ohledem na co nejjednodušší řešení můžeme uvažovat, že se řetěz pily otáčí po kružnici, lišta je sice oválná, ale redukuje-li její délku, měl by výsledek být dostačující.

6/68

Příloha I – moment hybnosti

Diskuse

- Proč se zabývat motorovou pilou ve stavu beztíže?

7/68

Diskuse

- Proč se zabývat motorovou pilou ve stavu beztíže?
- Protože se tato situace vyskytuje v počítačové videohře „Dead Space”. Je to hororová hra z pohledu třetí osoby od společnosti Visceral Games a distributora Electronic Arts, pro platformy PC, Xbox 360 a Playstation 3. Hra vyšla v České republice 24. října 2008.

8/68

Teorie – moment síly

- Jaký význam a směr má moment síly?

9/68

Teorie – moment síly

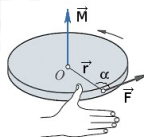
- Moment síly vyjadřuje otáčivý účinek síly.

10/68

Teorie – moment síly

- Moment síly vyjadřuje otáčivý účinek síly.

Směr má kolmý na rovinu síly a polohového vektoru působíště. Určuje se pravidlem pravé ruky: *Zahnuté prsty pravé ruky ukazují směr otáčivého účinku síly (směr otáčení tělesa), vztyčený palec ukazuje směr momentu síly.*



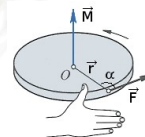
11/68

Teorie – moment síly

- Moment síly vyjadřuje otáčivý účinek síly.

Směr má kolmý na rovinu síly a polohového vektoru působíště. Určuje se pravidlem pravé ruky: *Zahnuté prsty pravé ruky ukazují směr otáčivého účinku síly (směr otáčení tělesa), vztyčený palec ukazuje směr momentu síly.*

- Jak se moment síly vypočítá?



12/68

Příloha I – moment hybnosti

Teorie – moment síly

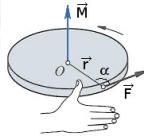
- Moment síly vyjadřuje otáčivý účinek síly.

Směr má kolmý na rovinu síly a polohového vektoru působišť. Určuje se pravidlem pravé ruky: *Zahnuté prsty pravé ruky ukazují směr otáčivého účinku síly (směr otáčení tělesa), vztyčený palec ukazuje směr momentu síly.*

- vztah pro moment síly

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

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



13/68

Teorie – moment setrvačnosti

- Jaký význam má moment setrvačnosti?

14/68

Teorie – moment setrvačnosti

- Udává míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu.

Jeho velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení.

15/68

Teorie – moment setrvačnosti

- Udává míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu.

Jeho velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení.

- Jak se vypočítá moment setrvačnosti?

16/68

Teorie – moment setrvačnosti

- Udává míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu.

Jeho velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení.

- vztah pro moment setrvačnosti vůči ose procházející těžištěm tělesa

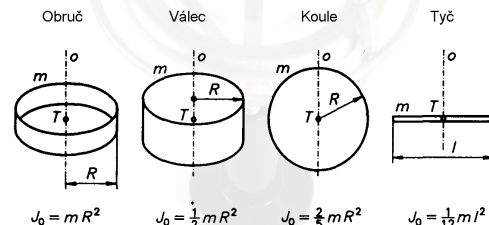
$$J_0 = \sum_{i=1}^N m_i \cdot r_i^2$$

17/68

Teorie – moment setrvačnosti

- Udává míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu.

Jeho velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení.



18/68

Příloha I – moment hybnosti

Teorie – moment hybnosti

- Jaký význam a směr má moment hybnosti?

19/68

Teorie – moment hybnosti

- Moment hybnosti udává míru otáčivého pohybu tělesa.

Směr momentu hybnosti je shodný se směrem úhlové rychlosti pro danou osu otáčení.

- Jak se vypočítá moment hybnosti?

20/68

Teorie – moment hybnosti

- Moment hybnosti udává míru otáčivého pohybu tělesa.

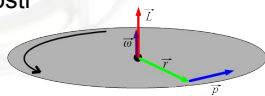
Směr momentu hybnosti je shodný se směrem úhlové rychlosti pro danou osu otáčení.

- vztahy pro moment hybnosti

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$$

$$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$



21/68

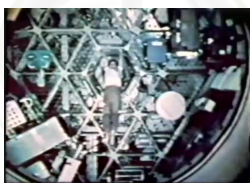
Diskuse



https://www.youtube.com/watch?v=_YNrpq-sb-w

22/68

Zákon zachování hybnosti ve stavu beztíže



<https://www.youtube.com/watch?v=RGE2nXpFDqA>

23/68

Získaná data

- hmotnost hlavního hrdiny $m_h = 80 \text{ kg}$
- hmotnost řetězu $m_r = 0,17 \text{ kg}$
- maximální otáčky řetězu

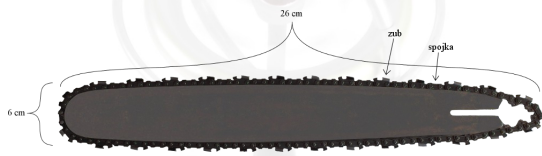
$$f_r = 12\,000 \text{ ot.} \cdot \text{min}^{-1} = 200 \text{ Hz}$$

24/68

Příloha I – moment hybnosti

Získaná data

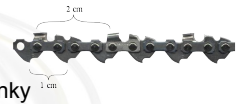
- délka lišty $l = 0,26$ m
- počet zubů 28, spojek 28, celkem 56 článků



25/68

Výpočty – řetěz

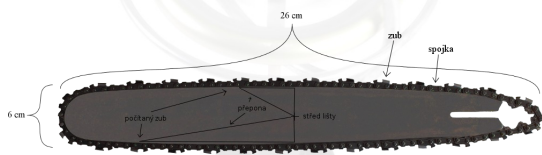
- moment setrvačnosti řetězu
- řetěz rozdělíme na jednotlivé články



26/68

Výpočty – řetěz

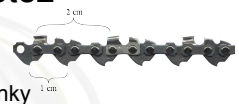
- moment setrvačnosti řetězu
- řetěz rozdělíme na jednotlivé články
- spočítáme vzdálenost každého článku od osy otáčení (středu lišty) pomocí Pythagorovy věty



27/68

Výpočty – řetěz

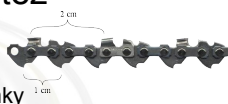
- moment setrvačnosti řetězu
- řetěz rozdělíme na jednotlivé články
- spočítáme vzdálenost každého článku od osy otáčení (středu lišty) pomocí Pythagorovy věty
- spočítáme hmotnost každého článku



28/68

Výpočty – řetěz

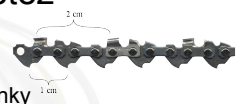
- moment setrvačnosti řetězu
- řetěz rozdělíme na jednotlivé články
- spočítáme vzdálenost každého článku od osy otáčení (středu lišty) pomocí Pythagorovy věty
- spočítáme hmotnost každého článku
- a dosadíme do vztahu pro moment setrvačnosti (lze využít i symetrie lišty)



29/68

Výpočty – řetěz

- moment setrvačnosti řetězu
- řetěz rozdělíme na jednotlivé články
- spočítáme vzdálenost každého článku od osy otáčení (středu lišty) pomocí Pythagorovy věty
- spočítáme hmotnost každého článku
- a dosadíme do vztahu pro moment setrvačnosti (lze využít i symetrie lišty)



30/68

$$J_r = \sum_{i=1}^{56} m_i \cdot r_i^2 \doteq 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Příloha I – moment hybnosti

Výpočty – řetěz – alternativa

- moment setrvačnosti řetězu
- redukuje-li délku lišty na $1/3$, pak je možné použít i vztah pro moment setrvačnosti obruče

31/68

Výpočty – řetěz – alternativa

- moment setrvačnosti řetězu
- redukuje-li délku lišty na $1/3$, pak je možné použít i vztah pro moment setrvačnosti obruče

$$J_{\text{obruč}} = m_r \cdot \left(\frac{l}{3}\right)^2 \doteq 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$m_r = 0,17 \text{ kg}$ $l = 0,26 \text{ m}$

32/68

Výpočty – řetěz

- moment hybnosti řetězu $J_r = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$L_r = J_r \cdot \omega = J_r \cdot 2\pi \cdot f_r$$

$$L_r = ?$$

33/68

Výpočty – řetěz

- moment hybnosti řetězu $J_r = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$L_r = J_r \cdot \omega = J_r \cdot 2\pi \cdot f_r$$

$$L_r \doteq 1,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

34/68

Získané informace

- pro zjištění momentu setrvačnosti celého těla použijeme formulář

Výpočet momentu setrvačnosti na [BIOMECH.FTVS.CUNI.CZ](http://biomech.ftvs.cuni.cz)

Adresa: http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/geometrie_moment_vypocet.php

- moment setrvačnosti volíme ve frontální rovině

35/68

Získané informace

- pro zjištění momentu setrvačnosti celého těla použijeme formulář

Výpočet momentu setrvačnosti na [BIOMECH.FTVS.CUNI.CZ](http://biomech.ftvs.cuni.cz)

Adresa: http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/geometrie_moment_vypocet.php

- moment setrvačnosti volíme ve frontální rovině (předozadní rovina)

$$J_{\text{člověka}} = 7,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

36/68

Příloha I – moment hybnosti

Získané informace

Směr otáčení



37/68

Ukázka – otáčení řetězu



<https://www.youtube.com/watch?v=mNyTmPM0ah0>

38/68

Výpočty – řetěz

- Celkový moment hybnosti motorvé pily, před použitím byl $0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

39/68

Výpočty – řetěz

- Celkový moment hybnosti motorvé pily, před použitím byl $0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.
- dle zákona zachování hybnosti se hlavní hrdina bude otáčet v opačném směru úhlovou rychlostí

$$\omega = \frac{L_r}{J_{\text{člověka}}} \doteq 0,22 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$L_r \doteq 1,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
 $J_{\text{člověka}} \doteq 7,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

40/68

Výpočty – řetěz

- Celkový moment hybnosti motorvé pily, před použitím byl $0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.
- dle zákona zachování hybnosti se hlavní hrdina bude otáčet v opačném směru úhlovou rychlostí

$$\omega = \frac{L_r}{J_{\text{člověka}}} \doteq 0,22 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$L_r \doteq 1,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
 $J_{\text{člověka}} \doteq 7,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

- což pro periodu znamená

$$T \doteq 28,5 \text{ s}$$

41/68

Závěr – analýza chyb

- Nezapočítali jsme moment hybnosti motoru.

42/68

Příloha I – moment hybnosti

Závěr – analýza chyb

- Nezapočítali jsme moment hybnosti motoru.
- Nezapočítali jsme do momentu setrvačnosti hlavního hrdiny hmotnost motorové pily.

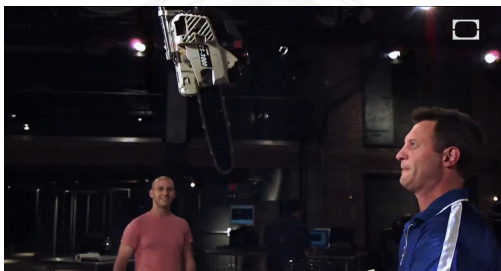
43/68

Závěr – analýza chyb

- Nezapočítali jsme moment hybnosti motoru.
- Nezapočítali jsme do momentu setrvačnosti hlavního hrdiny hmotnost motorové pily.
- Předpokládáme, že hlavní hrdina bude jen stát a nebude se pohybovat.

44/68

Závěr – řetěz



<https://www.youtube.com/watch?v=FMPluEWyFI>

45/68

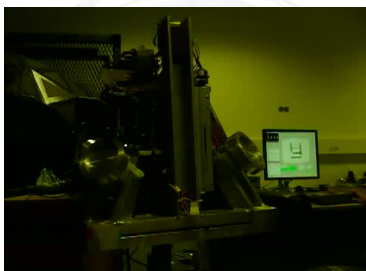
Ukázka gyrostabilizátoru



<https://www.youtube.com/watch?v=aZIT26IF5Fw>

46/68

Ukázka gyrostabilizátoru



<https://www.youtube.com/watch?v=z7gmmsMLCA8>

47/68

Uvedení do situace – raketa

Jiří Kulhánek, STRONCIUM

«Ale hlavně gyrostabilizátory – na ty jsem obzvlášť pyšný: Jednou jsem na pátrací cestě našel zvláštní věc, podle všeho to byl prastarý datový sklad, protože těm věcem uvnitř se podle archeologických učebnic říkávalo „pevný disk“ – asi nějaký měsíční datově–zabezpečovací experiment. A protože mi bylo jasné, že bez stabilizace se LONGIN bude točit všude možné, jen ne kam budu chtít, propočítal jsem to, vzal patnáct disků, umístil je na pravé místo a připojil na CCCP-zdroj – roztočení na dvacet tisíc otáček mi dá dostatečnou stabilitu a jejich snižováním a zvyšováním budu moci LONGINA za letu natáčet, jak budu chtít.»

48/68

Příloha I – moment hybnosti

Diskuse – raketa

- Disky budeme uvažovat osmiplotnové.
- Raketu z ukázky budeme pro jednoduchost uvažovat ve tvaru válce s homogenním rozložením hmoty.

49/68

Získaná data

- délka rakety $l = 4 \text{ m}$
- průměr rakety $d = 1 \text{ m}$
- hmotnost rakety $m_{\text{raketa}} = 500 \text{ kg}$
- hmotnost diskové plotny $m_d = 15 \text{ g} = 0,015 \text{ kg}$
- poloměr diskové plotny $r_d = 4,8 \text{ cm} = 0,048 \text{ m}$
- frekvence otáčení disků

$$f_d = 20\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \doteq 333 \text{ Hz}$$

50/68

Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti všech 120 ploten disku

$$J_d = 120 \cdot \frac{1}{2} m_d \cdot r_d^2$$

$m_d = 0,015 \text{ kg}$
 $r_d = 0,048 \text{ m}$

$$J_d = ?$$

51/68

Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti všech 120 ploten disku

$$J_d = 120 \cdot \frac{1}{2} m_d \cdot r_d^2$$

$m_d = 0,015 \text{ kg}$
 $r_d = 0,048 \text{ m}$

$$J_d \doteq 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

52/68

Výpočet – raketa

- moment hybnosti všech 120 ploten disku

$$L_d = J_d \cdot \omega = J_d \cdot 2\pi \cdot f_d$$

$J_d = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $f_d = 333 \text{ Hz}$

$$L_d = ?$$

53/68

Výpočet – raketa

- moment hybnosti všech 120 ploten disku

$$L_d = J_d \cdot \omega = J_d \cdot 2\pi \cdot f_d$$

$J_d = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $f_d = 333 \text{ Hz}$

$$L_d = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

54/68

Příloha I – moment hybnosti

Výpočet – raketa

- při zastavení všech disků se změní moment hybnosti o $\Delta L_d = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

55/68

Výpočet – raketa

- při zastavení všech disků se změní moment hybnosti o $\Delta L_d = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- Ze zákona zachování momentu hybnosti plyne, že o tento moment se může snížit moment otáčení rakety v její podélné nebo kolmé ose.

56/68

Výpočet – raketa

- při zastavení všech disků se změní moment hybnosti o $\Delta L_d = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- Ze zákona zachování momentu hybnosti plyne, že o tento moment se může snížit moment otáčení rakety v její podélné nebo kolmé ose.
- Při větším momentu hybnosti rakety už nebude možné snížit její otáčení.

57/68

Výpočet – raketa

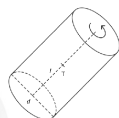
- při zastavení všech disků se změní moment hybnosti o $\Delta L_d = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- Ze zákona zachování momentu hybnosti plyne, že o tento moment se může snížit moment otáčení rakety v její podélné nebo kolmé ose.
- Při větším momentu hybnosti rakety už nebude možné snížit její otáčení.
- Disky těžko roztočíme na otáčky větší než 1 300 Hz, protože motorek by mohl shořet.

58/68

Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti rakety vůči ose rovnoběžné s její délkou

$$J_{r\parallel} = \frac{1}{2} m_{\text{raketa}} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 62,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

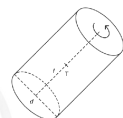


59/68

Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti rakety vůči ose rovnoběžné s její délkou

$$J_{r\parallel} = \frac{1}{2} m_{\text{raketa}} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 62,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



- změna úhlové rychlosti rakety

$$\Delta\omega = \frac{\Delta L_d}{J_{r\parallel}} = 0,0672 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

60/68

Příloha I – moment hybnosti

Výpočet – raketa

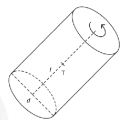
- moment setrvačnosti rakety vůči ose rovnoběžné s její délkou

$$J_{r\parallel} = \frac{1}{2} m_{raketa} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 62,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- změna úhlové rychlosti rakety

$$\Delta\omega = \frac{\Delta L_d}{J_{r\parallel}} = 0,0672 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

- minimální perioda otáčení $T_{\min\parallel} \doteq 93 \text{ s}$

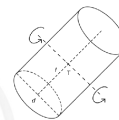


61/68

Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti rakety vůči ose kolmé k její délce

$$J_{r\perp} = \frac{1}{12} m_{raketa} \cdot l^2 \doteq 667 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



62/68

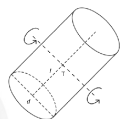
Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti rakety vůči ose kolmé k její délce

$$J_{r\perp} = \frac{1}{12} m_{raketa} \cdot l^2 \doteq 667 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- změna úhlové rychlosti rakety

$$\Delta\omega = \frac{\Delta L_d}{J_{r\perp}} \doteq 0,0063 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$



63/68

Výpočet – raketa

- moment setrvačnosti rakety vůči ose kolmé k její délce

$$J_{r\perp} = \frac{1}{12} m_{raketa} \cdot l^2 \doteq 667 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- změna úhlové rychlosti rakety

$$\Delta\omega = \frac{\Delta L_d}{J_{r\perp}} \doteq 0,0063 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

- minimální perioda otáčení $T_{\min\perp} \doteq 1000 \text{ s}$



64/68

Závěr – raketa

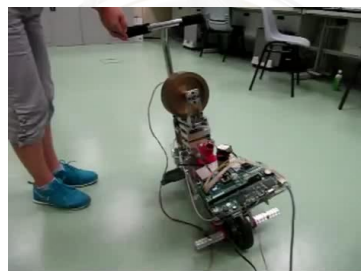
- Hlavní hrdina asi těžko bude korigovat otáčení rakety pomocí gyroskopu, pokud se bude otáčet s menší periodou než odhadnutou, to jest

$$T_{\min\parallel} \doteq 93 \text{ s} \quad \text{nebo} \quad T_{\min\perp} \doteq 1000 \text{ s}$$



65/68

Možná aplikace



<https://www.youtube.com/watch?v=tuQNjqrDrk>

66/68

Příloha I – moment hybnosti

Možná aplikace

The Cubli

Building a cube that can jump up and balance



ETH zürich

https://www.youtube.com/watch?v=n_6p-1J551Y

67/68

Chuck Norris na závěr



<https://www.youtube.com/watch?v=fdwC4vhc594>

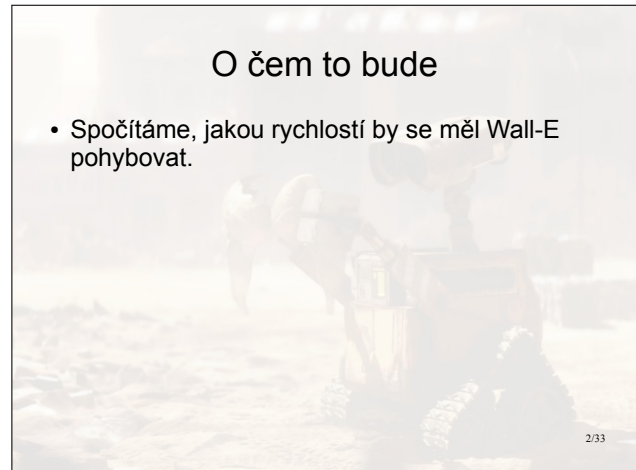
68/68

Příloha J – Wall-E



WALL-E

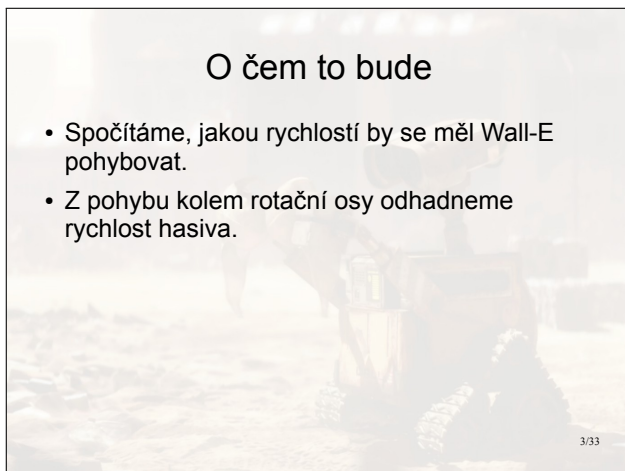
moment setrvačnosti
zákon zachování hybnosti



O čem to bude

- Spočítáme, jakou rychlostí by se měl Wall-E pohybovat.

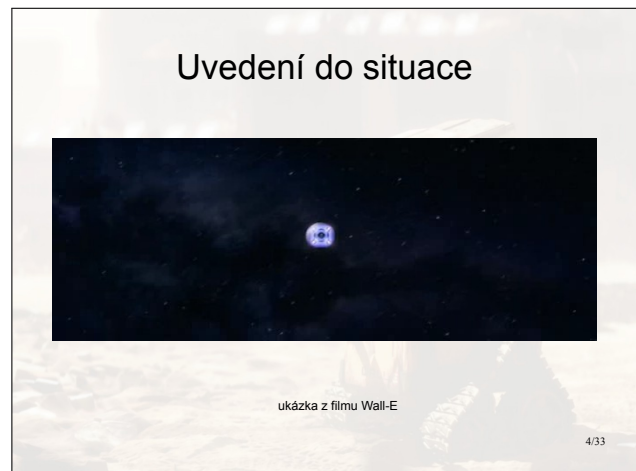
2/33




O čem to bude

- Spočítáme, jakou rychlostí by se měl Wall-E pohybovat.
- Z pohybu kolem rotační osy odhadneme rychlost hasiva.

3/33

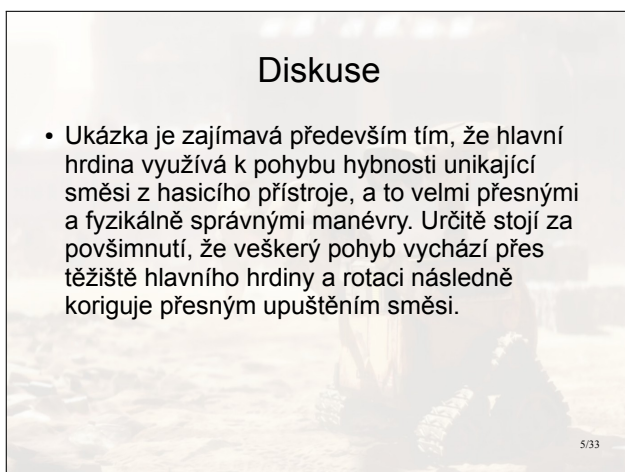


Uvedení do situace



ukázka z filmu Wall-E

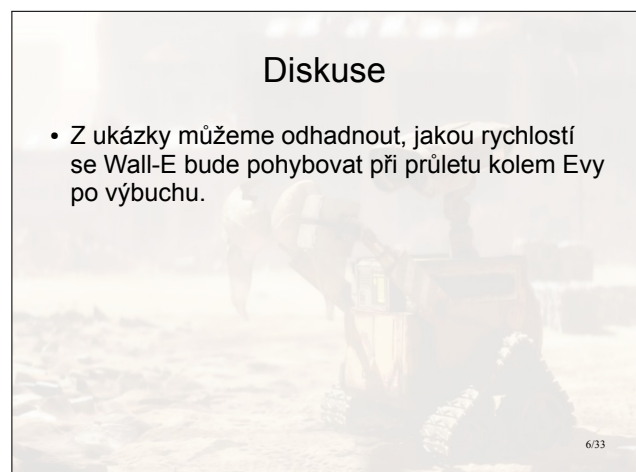
4/33



Diskuse

- Ukázka je zajímavá především tím, že hlavní hrdina využívá k pohybu hybnosti unikající směsi z hasicího přístroje, a to velmi přesnými a fyzikálně správnými manévry. Určitě stojí za povšimnutí, že veškerý pohyb vychází přes těžiště hlavního hrdiny a rotaci následně koriguje přesným upuštěním směsi.

5/33



Diskuse

- Z ukázky můžeme odhadnout, jakou rychlostí se Wall-E bude pohybovat při průletu kolem Evy po výbuchu.

6/33

Příloha J – Wall-E

Diskuse

- Z ukázky můžeme odhadnout, jakou rychlostí se Wall-E bude pohybovat při průletu kolem Evy po výbuchu.
- Předtím budeme muset odhadnout, jakou rychlostí uniká pěna z hasicího přístroje. Odhad provedeme na základě scény, kde se Wall-E otáčí čelem k Evě.

7/33

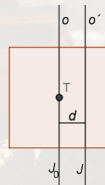
Diskuse

- Z ukázky můžeme odhadnout, jakou rychlostí se Wall-E bude pohybovat při průletu kolem Evy po výbuchu.
- Předtím budeme muset odhadnout, jakou rychlostí uniká pěna z hasicího přístroje. Odhad provedeme na základě scény, kde se Wall-E otáčí čelem k Evě.
- Wall-Eho budeme považovat za dutou krychli tvořenou šesti kovovými deskami.

8/33

Teorie

- Steinerova věta $J = J_0 + m \cdot d$
- Slouží k výpočtu momentu setrvačnosti, který neprochází těžištěm. Moment setrvačnosti J_0 udává moment setrvačnosti vůči ose procházející těžištěm a d je vzdálenost mezi novou osou momentu setrvačnosti a původní osou procházející těžištěm.



9/33

Teorie

- 2. věta impulsová $J \cdot \epsilon = r \cdot F$
- Dává do vztahu moment setrvačnosti, **úhlové zrychlení** a moment síly.
- V uvedeném vztahu označuje J moment setrvačnosti, ϵ zpomalení rotačního pohybu v čase, r udává vzdálenost od osy otáčení a F je síla v dané vzdálenosti vytvářející moment hybnosti.

10/33

Získaná data

- hmotnost desky $m_d = 56 \text{ kg}$

11/33

Získaná data

- hmotnost desky $m_d = 56 \text{ kg}$
- rozměry desky $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$

12/33

Příloha J – Wall-E

Získaná data

- hmotnost desky $m_d = 56 \text{ kg}$
- rozměry desky $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$
- perioda obratu k sondě Eva $T = 6 \text{ s}$

13/33

Získaná data

- hmotnost desky $m_d = 56 \text{ kg}$
- rozměry desky $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$
- perioda obratu k sondě Eva $T = 6 \text{ s}$
- rameno otáčení $r = 1 \text{ m}$

14/33

Získaná data

- hmotnost desky $m_d = 56 \text{ kg}$
- rozměry desky $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$
- perioda obratu k sondě Eva $T = 6 \text{ s}$
- rameno otáčení $r = 1 \text{ m}$
- doba úniku hasiva během obratu $t_z = 0,32 \text{ s}$
a hmotnost uniklého hasiva $m_h = 0,1 \text{ kg}$

15/33

Získaná data

- hmotnost desky $m_d = 56 \text{ kg}$
- rozměry desky $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$
- perioda obratu k sondě Eva $T = 6 \text{ s}$
- rameno otáčení $r = 1 \text{ m}$
- doba úniku hasiva během obratu $t_z = 0,32 \text{ s}$
a hmotnost uniklého hasiva $m_h = 0,1 \text{ kg}$
- hmotnostní průtok hasiva $Q_m = 0,25 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

16/33

Výpočty

- moment setrvačnosti horní a dolní desky

17/33

Výpočty

- moment setrvačnosti horní a dolní desky

$$J_v = \frac{m_d}{12} (a^2 + a^2) = 3,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Annotations: $m_d = 56 \text{ kg}$ points to the fraction; $a = 0,6 \text{ m}$ points to the a^2 terms.

18/33

Příloha J – Wall-E

Výpočty

- moment setrvačnosti horní a dolní desky

$$J_v = \frac{m_d}{12} (a^2 + a^2) = 3,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$m_d = 56 \text{ kg}$ $a = 0,6 \text{ m}$

- moment setrvačnosti bočních desek s využitím Steinerovy věty

19/33

Výpočty

- moment setrvačnosti horní a dolní desky

$$J_v = \frac{m_d}{12} (a^2 + a^2) = 3,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$m_d = 56 \text{ kg}$ $a = 0,6 \text{ m}$

- moment setrvačnosti bočních desek s využitím Steinerovy věty

$$J_m = \frac{m_d}{12} (a^2 + a^2) + m_d \cdot \frac{a_t^2}{4} = 2,94 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$m_d = 56 \text{ kg}$ $a = 0,6 \text{ m}$ $a_t = 0,02 \text{ m}$

20/33

Výpočty

- celkový moment setrvačnosti

$$J = 2 J_v + 4 J_m = 6,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

21/33

Výpočty

- celkový moment setrvačnosti

$$J = 2 J_v + 4 J_m = 6,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- z druhé věty impulsové vypočteme reakční sílu hasiva

$$J \cdot \epsilon = r \cdot F$$

$$F = \frac{2 J \cdot \pi}{T \cdot t_z \cdot r}$$

$\epsilon = \frac{\omega}{t_z}$ $\omega = 2\pi/T$

22/33

Výpočty

- celkový moment setrvačnosti

$$J = 2 J_v + 4 J_m = 6,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- z druhé věty impulsové vypočteme reakční sílu hasiva

$$J \cdot \epsilon = r \cdot F$$

$$F = \frac{2 J \cdot \pi}{T \cdot t_z \cdot r} = 20,6 \text{ N}$$

$T = 6 \text{ s}$ $t_z = 0,32 \text{ s}$ $r = 1 \text{ m}$ $\epsilon = \frac{\omega}{t_z}$ $\omega = 2\pi/T$

23/33

Výpočty

- z druhého Newtona zákona vypočteme rychlost hasiva

$$v_h = \frac{F \cdot t_z}{m_h} = 66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$F = 20,6 \text{ N}$ $t_z = 0,32 \text{ s}$ $m_h = 0,1 \text{ kg}$

24/33

Příloha J – Wall-E

Výpočty závěr

- A nyní už zbývá jen vypočítat ze zákona zachování hybnosti rychlost akcelerace robota Wall-E

$$m_h \cdot v_h = m_w \cdot v_w ,$$

kde $m_h = Q_m \cdot t_a$ je celková hmotnost hasiva, která se uvolní za dobu $t_a = 9,5$ s, po kterou Wall-E akceleruje směrem k Evě, v_h je rychlost unikajícího hasiva, $m_w = 336$ kg je celková hmotnost Wall-Eho a v_w je rychlost, kterou Wall-E nabere.

25/33

Výpočty závěr

- rychlost jakou se bude pohybovat Wall-E

$$v_w = \frac{m_h \cdot v_h}{m_w}$$

26/33

Výpočty závěr

- rychlost jakou se bude pohybovat Wall-E

$$v_w = \frac{m_h \cdot v_h}{m_w}$$

$$v_w \doteq 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

27/33

Závěr

- Jak vidno, i kdyby použil všechnu směs v hasicím přístroji, a té by mohlo být maximálně deset kilogramů, tak by se zřejmě jen nepatrně přibrzdil vůči rychlosti, kterou nabral před výbuchem unikového modulu.

28/33

Závěr

- Jak vidno, i kdyby použil všechnu směs v hasicím přístroji, a té by mohlo být maximálně deset kilogramů, tak by se zřejmě jen nepatrně přibrzdil vůči rychlosti, kterou nabral před výbuchem unikového modulu.
- Pravdou je, že v tomto případě by se nekonal žádný „happy end“ a film by vyzněl velmi smutně:
„Kdesi hluboko v galaxii pluje opuštěný Wall-E a vzpomíná ...“

29/33

Upozornění

- V příkladu je mnoho zanedbání, rychlost hasiva bude ve vzduchoprázdnu větší.

30/33

Příloha J – Wall-E

Upozornění

- V příkladu je mnoho zanedbání, rychlost hasiva bude ve vzduchoprázdnu větší.
- Wall-E není krychle.

31/33

Upozornění

- V příkladu je mnoho zanedbání, rychlost hasiva bude ve vzduchoprázdnu větší.
- Wall-E není krychle.
- V ukázce je několik fyzikálních nesmyslů (např. poskakování).

32/33

Poučení

- Láska i hory přenáší, tak proč by nepomohla Wall-Emu zpomalit a dostat se k sondě Eva?
- A když nepomůže láska, tak autor či scénárista jistě rád změní některé fyzikální zákony.

33/33

Příloha K – Přísavka na Merkur

Atmosférický tlak

Zločin na Merkur

O čem to bude

- Prověříme, zda ukázka z knihy by mohla být reálná.

2/21

O čem to bude

- Prověříme, zda ukázka z knihy by mohla být reálná.
- A ukážeme si využití přísavek.

3/21

Uvedení do situace

Kim Stanley Robinson, Zločin na Merkur

«Na kolejnici, která nám byla nejbliž, jsem náhle něco zahlédl: nahofe, na obrovském válci, spočívala, s rukama a nohama rozpřaženými, lidská postava v lehkém, zeleném denním skafandru. Zastavil jsem auto. „Podívej!“

...

Jakmile jsme se dostali na povrch kolejnice, mohli jsme se po jejím širokém hřbetě bezpečně pohybovat.

...

Byl to Arnold, roztažený v poloze pro ukřižování a přibitý na místě třemi velkými, přísavnými, plochými sponami, které byly připoutány k jeho zápěstí a kotníkům a pak přichyceny k válci.»

4/21

Uvedení do situace

Kim Stanley Robinson, Zločin na Merkur

«„Jsem rád, že vás vidím!“ křičel Arnold ochraptěle. „Ty spony drží jako blázen!“

„Jsou ke kolejnici přísátý, že?“ řekla Freya.

„Jo!“

...

Když se Freya vrátila, měla v rukou tyč, na jednom konci zahnutou. „Páčidlo,“ poučila nás.»

5/21

Přísavky



6/21

Příloha K – Přísavka na Merkuru

Diskuse

- V ukázce je trochu překvapivé, že autor použil k uchycení přísavky. Jejich síla závisí především na atmosférickém tlaku a ten je na Merkuru velmi velmi malý.

7/21

Diskuse

- V ukázce je trochu překvapivé, že autor použil k uchycení přísavky. Jejich síla závisí především na atmosférickém tlaku a ten je na Merkuru velmi velmi malý.
- V ukázce se píše, že přísavka „drží jako blázen“. Z každodenní zkušenosti by se určitě dalo říci, že předmět o hmotnosti 100 kg je „těžký jako blázen“.

8/21

Získaná data

- tlak na povrchu Merkuru $p_M = 10^{-10}$ Pa

9/21

Získaná data

- tlak na povrchu Merkuru $p_M = 10^{-10}$ Pa
- tlaková síla atmosféry $F_p = 1\,000$ N působící na jednu přísavku (velikost je dána tím, že přísavka musí „držet jako blázen“)

10/21

Zadání

A teď je na vás, jak problém vyřešíme.

Zadání zní:

Jak velké jsou přísavky?

$$p_M = 10^{-10} \text{ Pa}$$

$$F_p = 1\,000 \text{ N}$$

11/21

Výpočet

- plocha, na niž působí síla daným tlakem

$$S = \frac{F_p}{p_M}$$

$F_p = 1\,000 \text{ N}$
 $p_M = 10^{-10} \text{ Pa}$

$$S = ?$$

12/21

Příloha K – Přísavka na Merkuru

Výpočet

- plocha, na níž působí síla daným tlakem

$$S = \frac{F_p}{p_M}$$

$F_p = 1\,000\text{ N}$
 $p_M = 10^{-10}\text{ Pa}$

$$S = 10^{13}\text{ m}^2$$

13/21

Výpočet

- uvažujeme-li, že přísavka je kruhová

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$S = 10^{13}\text{ m}^2$

$$d = ?$$

14/21

Výpočet

- uvažujeme-li, že přísavka je kruhová

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$S = 10^{13}\text{ m}^2$

$$d \doteq 3\,600\text{ km}$$

15/21

Závěr

- Rovníkový průměr Merkuru je 4 880 km.

16/21

Závěr

- Rovníkový průměr Merkuru je 4 880 km.
- Průměr přísavky (pokud by byla kruhová) by byl zhruba 3 600 km.



17/21

Závěr

- Rovníkový průměr Merkuru je 4 880 km.
- Průměr přísavky (pokud by byla kruhová) by byl zhruba 3 600 km.
- **Autor se dopustil hrubé fyzikální chyby!**



18/21

Příloha K – Přísavka na Merkuru

Další možné využití přísavek



http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Z_Man.aspx 19/21

Ukázka z filmu



ukázka z filmu „Mission: Impossible – Ghost Protocol“ (2011)

20/21

Poučení

- Funkce přísavky je založena na atmosférickém tlaku.
- Ve vakuu přísavka nefunguje.
- Na Zemi ji velmi často využíváme například k manipulaci se sklem.



21/21

Příloha L – Město na Merkuru

Vlastnosti látek z hlediska molekulové fyziky

délková teplotní roztažnost

O čem to bude

- Odhadneme velikost a hmotnost města z textu ukázky.

2/48

O čem to bude

- Odhadneme velikost a hmotnost města z textu ukázky.
- Ukážeme si aplikaci délkové teplotní roztažnosti.

3/48

O čem to bude

- Odhadneme velikost a hmotnost města z textu ukázky.
- Ukážeme si aplikaci délkové teplotní roztažnosti.
- Můžeme si zkusit navrhnout různé možnosti, jak získat energii na povrchu Merkuru.

4/48

Uvedení do situace

Kim Stanley Robinson, Zločin na Merkuru

«Terminátor je oválné město na Merkuru. Jeho přední polovina je plochá a vyčnívá z průhledné kupole. Zadní polovina oválu je terasovitá a zvedá se až k vysoké Stěně rozbřesku, která nese horní okraj kupole a odstiňuje město od věčně vycházejícího slunce.

...

Pouhých dvě stě metrů nad námi zářil jasně bílým světlem samotný vrcholek Stěny rozbřesku, jak na něj dopadalo sluneční světlo.

...

Vně kupole se táhlo k obzoru dvanáct masivních kolejí, po nichž se město pohybovalo a obepínalo planetu jako tenký svatební prstýnek.»

5/48

Uvedení do situace

Kim Stanley Robinson, Zločin na Merkuru

«Mezitím nad námi nehlučně přeploovalo město, poháněné rozpínáním samotných kolejnic. Rozumějte slitina, z níž jsou kolejnice zhotoveny, vydrží teplotu 425 stupňů za merkurského dne, ale při této teplotě se válce o něco rozepnou. Zde na Terminátoru je oblast, v níž rozpínání válců začíná, a hladká pouzdra nad námi v té chvíli lícovala s válci tak těsně, že jak se válce rozpínaly, město bylo posunováno k chladnějším, tenčím úsekům kolejnic západním směrem. Město je tedy na sluneční pohon, i když se slunečním paprskům nikdy plně nevystaví. Ta hnací síla je ve skutečnosti tak velká, že odporový systém, zabudovaný v pouzdrech, dává obrovské množství energie, kterou Terminátor tak úspěšně prodává zbytku civilizace.»

6/48

Příloha L – Město na Merkur

Ukázka



http://www.huffingtonpost.co.uk/2013/11/04/city-of-tracks-manuel-dominguez_n_4210885.html

7/48

Diskuse

- Pro popis pohybu města je nejjednodušší předpokládat dokonalý pohyb bez tření po kolejnicích obepínajících Merkur. Aby nedocházelo ke tření, předpokládejme, že celé město se pohybuje na elektromagnetických polštářích a nedotýká se kolejnic.

8/48

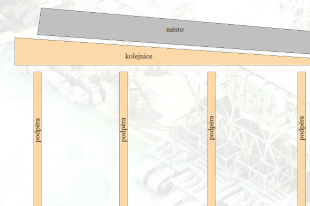
Diskuse

- Pro popis pohybu města je nejjednodušší předpokládat dokonalý pohyb bez tření po kolejnicích obepínajících Merkur. Aby nedocházelo ke tření, předpokládejme, že celé město se pohybuje na elektromagnetických polštářích a nedotýká se kolejnic.
- Můžeme předpokládat, že celé město neustále klouže po nakloněné rovině. Nakloněná rovina vzniká zvětšením průřezu kolejnic na přivrácené straně ke Slunci a menším průřezem kolejnic na straně odvrácené od Slunce.

9/48

Diskuse

- O kolejnicích budeme uvažovat, že jsou položeny na nosných podpěrách, tím se co nejvíce projeví efekt teplotní roztažnosti.



10/48

Diskuse

- O kolejnicích budeme uvažovat, že jsou položeny na nosných podpěrách, tím se co nejvíce projeví efekt teplotní roztažnosti.
- Podpěry by měly být postaveny tak, aby na pohybující město působila konstantní tíhová síla. Tento předpoklad je důležitý proto, aby se město na své cestě nezastavilo.

11/48

Délková a objemová roztažnost



<https://www.youtube.com/watch?v=VT3g9tWOS7g>

12/48

Příloha L – Město na Merkuru

Získaná data

- rovníkový obvod Merkuru $\varphi_M = 15\,300\text{ km}$

13/48

Získaná data

- rovníkový obvod Merkuru $\varphi_M = 15\,300\text{ km}$
- tíhové zrychlení na Merkuru $g_M = 3,7\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

14/48

Získaná data

- rovníkový obvod Merkuru $\varphi_M = 15\,300\text{ km}$
- tíhové zrychlení na Merkuru $g_M = 3,7\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- rozdíl teplot na přivrácené a odvrácené straně
 $\Delta T = 610\text{ K}$

15/48

Získaná data

- rovníkový obvod Merkuru $\varphi_M = 15\,300\text{ km}$
- tíhové zrychlení na Merkuru $g_M = 3,7\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- rozdíl teplot na přivrácené a odvrácené straně
 $\Delta T = 610\text{ K}$
- délka merkurovského dne je 175,88 násobek pozemského dne

16/48

Získaná data

- délka města $d = 3\,200\text{ m}$

17/48

Získaná data

- délka města $d = 3\,200\text{ m}$
- šířka města $s = 1\,600\text{ m}$

18/48

Příloha L – Město na Merkuru

Získaná data

- délka města $d = 3\,200\text{ m}$
- šířka města $s = 1\,600\text{ m}$
- plocha města $S = 5,12\text{ km}^2$

19/48

Získaná data

- délka města $d = 3\,200\text{ m}$
- šířka města $s = 1\,600\text{ m}$
- plocha města $S = 5,12\text{ km}^2$
- počet obyvatel $N = 200\,000$

20/48

Odhad hmotnosti města

- Město v evropském pojetí je zděné. Uvažujme tedy 3–4patrové zděné budovy s hustou blokovou zástavbou. Kdyby se zbouralo (vizte fotky z 2. světové války), vznikne vrstva sutě 2 metry vysoká.



Odhad hmotnosti města

- Město v evropském pojetí je zděné. Uvažujme tedy 3–4patrové zděné budovy s hustou blokovou zástavbou. Kdyby se zbouralo (vizte fotky z 2. světové války), vznikne vrstva sutě 2 metry vysoká.
- Stavební rum má hustotu $1\,300\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



Získaná data

- Samotné město na Merkuru pak může mít hmotnost 10^{10} kg .

23/48

Získaná data

- Samotné město na Merkuru pak může mít hmotnost 10^{10} kg .
- Protože však potřebuje vodu, vzduch a další technické zázemí, můžeme uvažovat hmotnost až desetkrát větší.

24/48

Příloha L – Město na Merkuru

Získaná data

- Samotné město na Merkuru pak může mít hmotnost 10^{10} kg.
- Protože však potřebuje vodu, vzduch a další technické zázemí, můžeme uvažovat hmotnost až desetkrát větší.

- hmotnost města $m_T = 10^{11}$ kg

25/48

Získaná data

- součinitel délkové teplotní roztažnosti
- slitina Al+Mn+Ni $\alpha_{Al} = (25 \text{ až } 30) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- slitina Cu+Mn+Ni $\alpha_{Cu} = (15 \text{ až } 20) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- slitina Fe+Mn+Ni $\alpha_{Fe} = (13 \text{ až } 16) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

26/48

Získaná data

- součinitel délkové teplotní roztažnosti
- slitina Al+Mn+Ni $\alpha_{Al} = (25 \text{ až } 30) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- slitina Cu+Mn+Ni $\alpha_{Cu} = (15 \text{ až } 20) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- slitina Fe+Mn+Ni $\alpha_{Fe} = (13 \text{ až } 16) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

- součinitel délkové teplotní roztažnosti kolejnice

$$\alpha = \frac{\alpha_{Al} + \alpha_{Cu} + \alpha_{Fe}}{3} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

27/48

Získaná data

- průměr kolejnice $l_0 = 100 \text{ m}$

28/48

Získaná data

- průměr kolejnice $l_0 = 100 \text{ m}$
- průměrná spotřeba energie jednoho člověka (z města) za rok na Zemi 80 GJ

29/48

Získaná data

- průměr kolejnice $l_0 = 100 \text{ m}$
- průměrná spotřeba energie jednoho člověka (z města) za rok na Zemi 80 GJ
- průměrná spotřeba energie jednoho člověka ve městě na Merkuru během jednoho oběhu

$$80 \cdot \frac{175,88}{365} \doteq 40 \text{ GJ}$$

30/48

Příloha L – Město na Merkuru

Výpočty

- výpočet náklonu

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$
$$\phi = \arctg\left(\frac{\Delta l}{d}\right)$$

$l_0 = 100 \text{ m}$, $\alpha = 20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 $d = 3200 \text{ m}$, $\Delta T = 610 \text{ K}$

$\phi = ?$

31/48

Výpočty

- výpočet náklonu

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$
$$\phi = \arctg\left(\frac{\Delta l}{d}\right)$$

$l_0 = 100 \text{ m}$, $\alpha = 20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
 $d = 3200 \text{ m}$, $\Delta T = 610 \text{ K}$

$\phi = 0,021^\circ$

32/48

Výpočty

- zrychlení města
- energie získaná z brzdění

$$a = g_M \cdot \sin \phi$$
$$E = m_T \cdot a \cdot o_M$$

$g_M = 3,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $\phi = 0,021^\circ$
 $o_M = 15300 \text{ km}$, $m_T = 10^{11} \text{ kg}$

$E = ?$

33/48

Výpočty

- zrychlení města
- energie získaná z brzdění

$$a = g_M \cdot \sin \phi$$
$$E = m_T \cdot a \cdot o_M$$

$g_M = 3,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $\phi = 0,021^\circ$
 $o_M = 15300 \text{ km}$, $m_T = 10^{11} \text{ kg}$

$E \doteq 2142 \text{ TJ}$

34/48

Závěr

- spotřeba 200 000 lidí ve městě

$$E_{\text{spotřeba}} = 200\,000 \cdot 40 \cdot 10^9 \text{ J} = 8\,000 \text{ TJ}$$

35/48

Závěr

- spotřeba 200 000 lidí ve městě
- zisk energie z brzdění

$$E_{\text{spotřeba}} = 200\,000 \cdot 40 \cdot 10^9 \text{ J} = 8\,000 \text{ TJ}$$
$$E \doteq 2142 \text{ TJ}$$

36/48

Příloha L – Město na Merkuru

Závěr

- spotřeba 200 000 lidí ve městě
 $E_{\text{spotřeba}} = 200\,000 \cdot 40 \cdot 10^9 \text{ J} = 8\,000 \text{ TJ}$
- zisk energie z brzdění
 $E \doteq 2\,142 \text{ TJ}$
- **Kde získat zbytek?**


37/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely
- geotermální vrty
- solární kolektory
- spalování biomasy
- větrné elektrárny
- vodní elektrárny
- termoelektrické panely



38/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely ✓ 
- geotermální vrty
- solární kolektory
- spalování biomasy
- větrné elektrárny
- vodní elektrárny
- termoelektrické panely




39/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely ✓ 
- geotermální vrty × 
- solární kolektory
- spalování biomasy
- větrné elektrárny
- vodní elektrárny
- termoelektrické panely





40/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely ✓ 
- geotermální vrty × 
- solární kolektory ✓ 
- spalování biomasy
- větrné elektrárny
- vodní elektrárny
- termoelektrické panely

41/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely ✓ 
- geotermální vrty × 
- solární kolektory ✓ 
- spalování biomasy × 
- větrné elektrárny
- vodní elektrárny
- termoelektrické panely

42/48

Příloha L – Město na Merkuru

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely ✓
- geotermální vrty ×
- solární kolektory ✓
- spalování biomasy ×
- větrné elektrárny ×
- vodní elektrárny ×
- termoelektrické panely ×



43/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

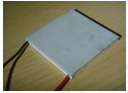
- fotovoltaické panely ✓
- geotermální vrty ×
- solární kolektory ✓
- spalování biomasy ×
- větrné elektrárny ×
- vodní elektrárny ×
- termoelektrické panely ×



44/48

Obnovitelné zdroje energie na Merkuru

- fotovoltaické panely ✓
- geotermální vrty ×
- solární kolektory ✓
- spalování biomasy ×
- větrné elektrárny ×
- vodní elektrárny ×
- termoelektrické panely ✓



45/48

Poučení

- Brzděním těles na nakloněné rovině tak, aby se pohybovala rovnoměrně, je možné získávat energii. V ukázce však autor velikost takto získané energie přecenil.

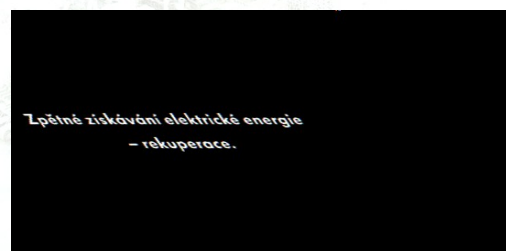
46/48

Poučení

- Brzděním těles na nakloněné rovině tak, aby se pohybovala rovnoměrně, je možné získávat energii. V ukázce však autor velikost takto získané energie přecenil.
- Podobný systém založený na zisku energie při brzdění se využívá při rekuperaci energie brzd v některých typech aut.

47/48

Rekuperace energie v autě



<https://www.youtube.com/watch?v=QRztyrTtOP8>

48/48

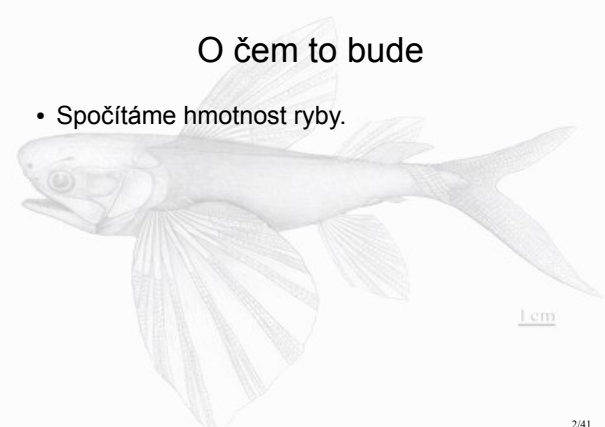
Příloha M – Ryby plující v mlze



Ryby plující v atmosféře

stavová rovnice ideálního plynu
Archimédův zákon

1 cm

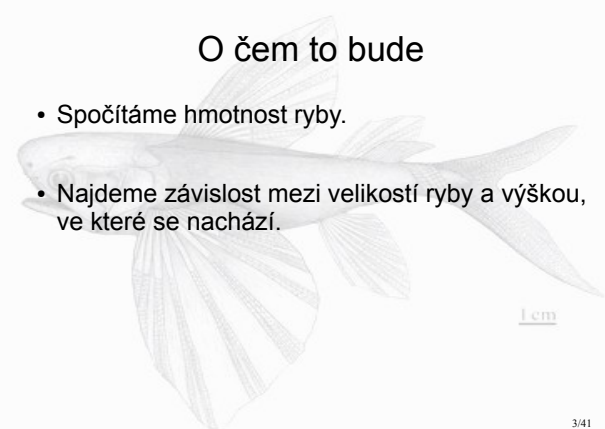


O čem to bude

- Spočítáme hmotnost ryby.

1 cm

2/41

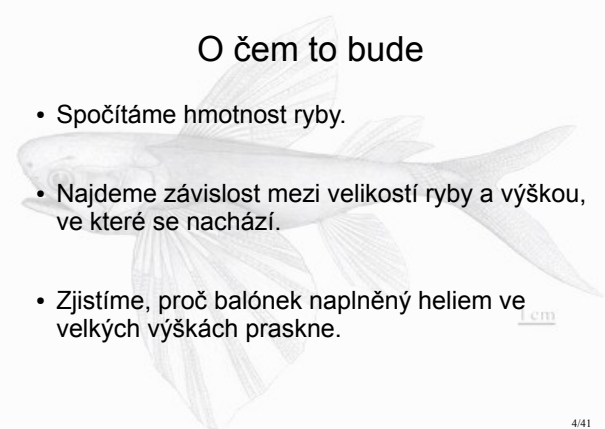


O čem to bude

- Spočítáme hmotnost ryby.
- Najdeme závislost mezi velikostí ryby a výškou, ve které se nachází.

1 cm

3/41

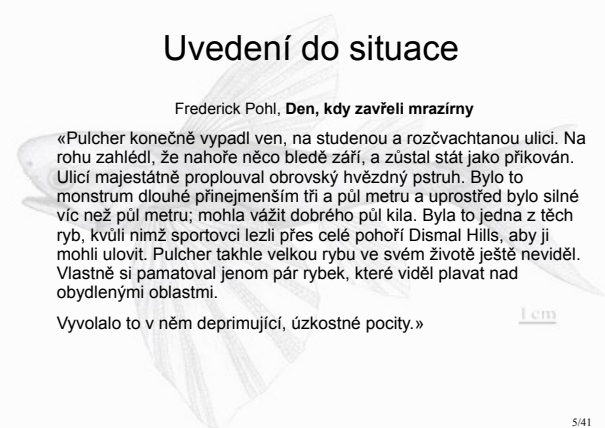


O čem to bude

- Spočítáme hmotnost ryby.
- Najdeme závislost mezi velikostí ryby a výškou, ve které se nachází.
- Zjistíme, proč balónek naplněný heliem ve velkých výškách praskne.

1 cm

4/41



Uvedení do situace

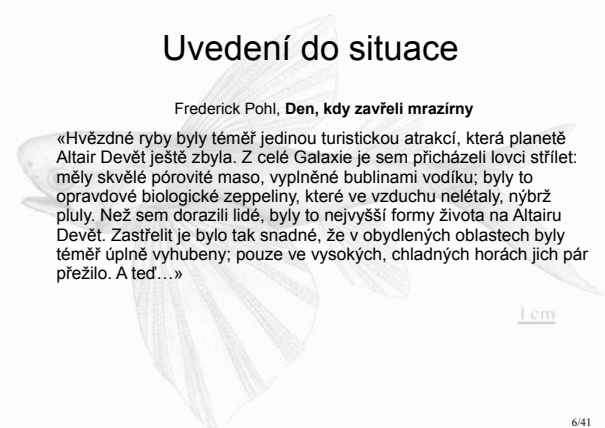
Frederick Pohl, **Den, kdy zavřeli mrazírny**

«Pulcher konečně vypadl ven, na studenou a rozčvachtanou ulici. Na rohu zahlédl, že nahoře něco bledě září, a zůstal stát jako přikován. Ulicí majestátně proplouval obrovský hvězdný pstruh. Bylo to monstrum dlouhé přinejmenším tři a půl metru a uprostřed bylo silné víc než půl metru; mohla vážit dobrého půl kila. Byla to jedna z těch ryb, kvůli nimž sportovci lezli přes celé pohorí Dismal Hills, aby ji mohli ulovit. Pulcher takhle velkou rybu ve svém životě ještě neviděl. Vlastně si pamatoval jenom pár rybek, které viděl plavat nad obydlenými oblastmi.

Vyvolalo to v něm deprimující, úzkostné pocity.»

1 cm

5/41



Uvedení do situace

Frederick Pohl, **Den, kdy zavřeli mrazírny**

«Hvězdné ryby byly téměř jedinou turistickou atrakcí, která planetě Altair Devět ještě zbyla. Z celé Galaxie je sem přicházeli lovci střílet: měly skvělé pórovité maso, vyplněné bublinami vodíku; byly to opravdové biologické zeppelinů, které ve vzduchu nelétaly, nýbrž pluly. Než sem dorazili lidé, byly to nejvyšší formy života na Altairu Devět. Zastřílet je bylo tak snadné, že v obydlených oblastech byly téměř úplně vyhubeny; pouze ve vysokých, chladných horách jich pár přežilo. A teď...»

1 cm

6/41

Příloha M – Ryby plující v mlze

Uvedení do situace



ukázka ze seriálu doktor Who S05E14

7/41

Diskuse

- Ryba se ve vzduchu vznáší díky Archimédovu zákonu. Vztlačová síla je v rovnováze s tíhovou silou.

1 cm

8/41

Diskuse

- Ryba se ve vzduchu vznáší díky Archimédovu zákonu. Vztlačová síla je v rovnováze s tíhovou silou.
- Hustota vzduchu a hmotnost vodíku závisí na okolním tlaku.

1 cm

9/41

Diskuse

- Ryba se ve vzduchu vznáší díky Archimédovu zákonu. Vztlačová síla je v rovnováze s tíhovou silou.
- Hustota vzduchu a hmotnost vodíku závisí na okolním tlaku.
- Pro potřeby odhadu konstant budeme předpokládat, že se popis odehrává na Zemi.

10/41

Získaná data

- Objem ryby odhadneme na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$

1 cm

11/41

Získaná data

- Objem ryby odhadneme na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$
- Hustota svaloviny $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1 cm

12/41

Příloha M – Ryby plující v mlze

Získaná data

- Objem ryby odhadneme na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$
- Hustota svaloviny $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Teplotu okolí $T = 288 \text{ K} \Leftrightarrow t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

1cm

13/41

Získaná data

- Objem ryby odhadneme na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$
- Hustota svaloviny $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Teplotu okolí $T = 288 \text{ K} \Leftrightarrow t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tlak vzduchu $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$

1cm

14/41

Získaná data

- Objem ryby odhadneme na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$
- Hustota svaloviny $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Teplotu okolí $T = 288 \text{ K} \Leftrightarrow t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tlak vzduchu $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$
- Molární hmotnost vzduchu $M_{vz} = 28,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

15/41

Získaná data

- Objem ryby odhadneme na $V_r = 0,7 \text{ m}^3$
- Hustota svaloviny $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Teplotu okolí $T = 288 \text{ K} \Leftrightarrow t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tlak vzduchu $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$
- Molární hmotnost vzduchu $M_{vz} = 28,96 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Molární hmotnost vodíku $M_H = 1,008 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

16/41

Výpočty

- Ze stavové rovnice ideálního plynu určíme vztahy pro hustotu vzduchu a objem vodíku.

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$p \cdot V_{vz} = \frac{\rho_{vz} \cdot V_{vz}}{M_{vz}} \cdot R \cdot T$$

1cm

17/41

Výpočty

- Ze stavové rovnice ideálního plynu určíme vztahy pro hustotu vzduchu a objem vodíku.

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\rho_{vz} = \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

1cm

18/41

Příloha M – Ryby plující v mlze

Výpočty

- Ze stavové rovnice ideálního plynu určíme vztahy pro hustotu vzduchu a objem vodíku.

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\rho_{vz} = \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T} \quad p \cdot V_H = \frac{m_H}{M_H} \cdot R \cdot T \quad \underline{1cm}$$

19/41

Výpočty

- Ze stavové rovnice ideálního plynu určíme vztahy pro hustotu vzduchu a objem vodíku.

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$\rho_{vz} = \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T} \quad V_H = m_H \cdot \frac{R \cdot T}{M_H \cdot p} \quad \underline{1cm}$$

20/41

Výpočty

- Objem rybího těla $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + V_H$

1cm

21/41

Výpočty

- Objem rybího těla $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + V_H$
- Po dosazení $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + m_H \cdot \frac{R \cdot T}{M_H \cdot p}$

1cm

22/41

Výpočty

- Objem rybího těla $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + V_H$
- Po dosazení $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + m_H \cdot \frac{R \cdot T}{M_H \cdot p}$
- Vypočteme $m_H = ?$

1cm

23/41

Výpočty

- Objem rybího těla $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + V_H$
- Po dosazení $V_r = \frac{m_s}{\rho_s} + m_H \cdot \frac{R \cdot T}{M_H \cdot p}$
- Vypočteme $m_H = \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T}$

1cm

24/41

Příloha M – Ryby plující v mlze

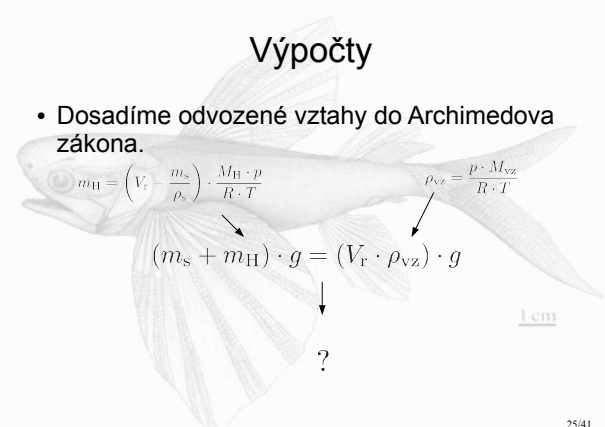
Výpočty

- Dosadíme odvozené vztahy do Archimedova zákona.

$$m_H = \left(V_r \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} \quad \rho_{vz} = \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

$$(m_s + m_H) \cdot g = (V_r \cdot \rho_{vz}) \cdot g$$

?



1cm

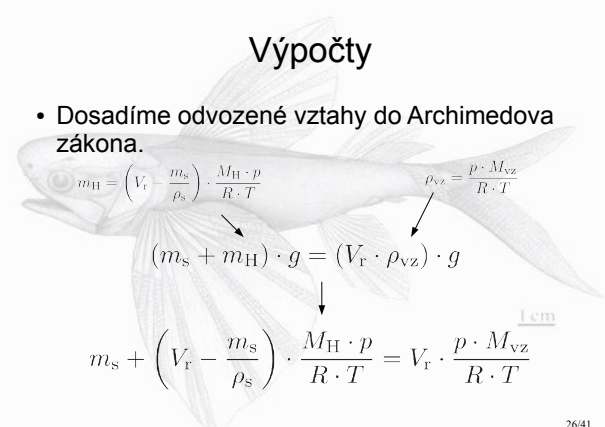
25/41

Výpočty

- Dosadíme odvozené vztahy do Archimedova zákona.

$$m_H = \left(V_r \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} \quad \rho_{vz} = \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

$$(m_s + m_H) \cdot g = (V_r \cdot \rho_{vz}) \cdot g$$

$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$


1cm

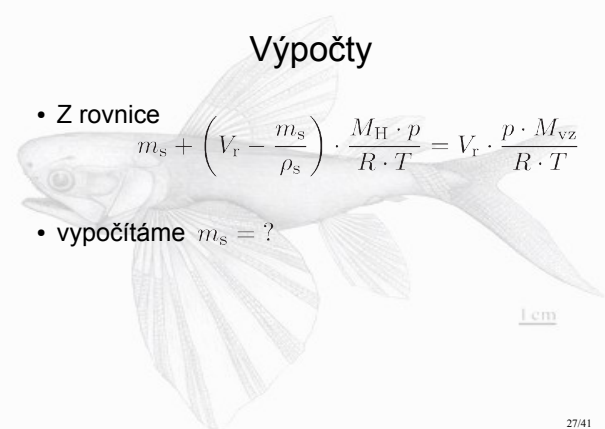
26/41

Výpočty

- Z rovnice

$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

- vypočítáme $m_s = ?$



1cm

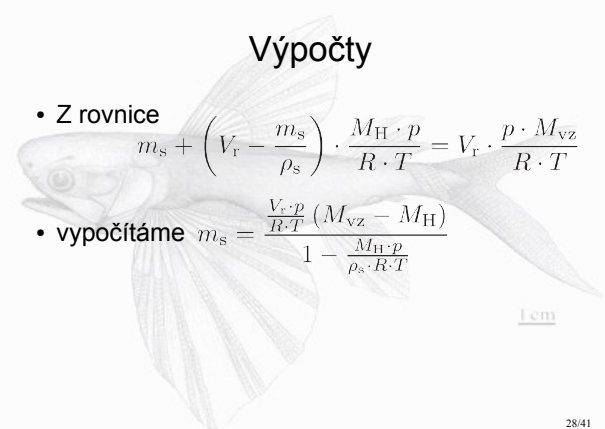
27/41

Výpočty

- Z rovnice

$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

- vypočítáme $m_s = \frac{V_r \cdot p \cdot (M_{vz} - M_H)}{1 - \frac{M_H \cdot p}{\rho_s \cdot R \cdot T}}$



1cm

28/41

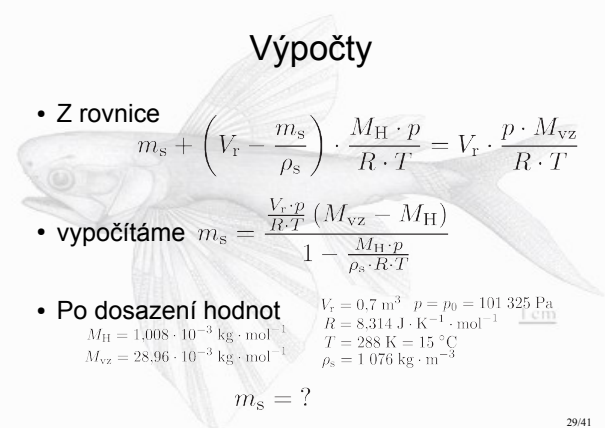
Výpočty

- Z rovnice

$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

- vypočítáme $m_s = \frac{V_r \cdot p \cdot (M_{vz} - M_H)}{1 - \frac{M_H \cdot p}{\rho_s \cdot R \cdot T}}$

- Po dosazení hodnot $V_r = 0,7 \text{ m}^3$ $p = p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$
 $M_H = 1,008 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
 $T = 288 \text{ K} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$m_s = ?$$


1cm

29/41

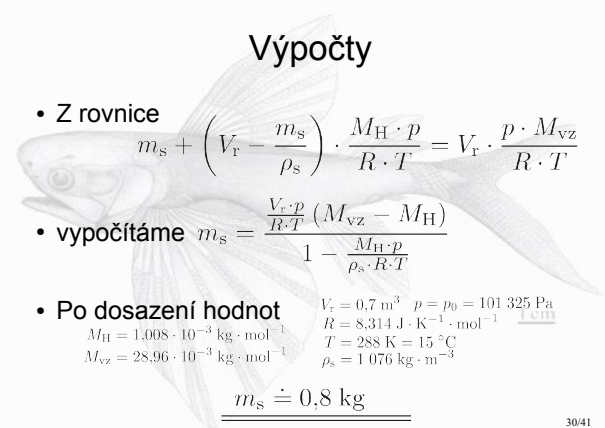
Výpočty

- Z rovnice

$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{vz}}{R \cdot T}$$

- vypočítáme $m_s = \frac{V_r \cdot p \cdot (M_{vz} - M_H)}{1 - \frac{M_H \cdot p}{\rho_s \cdot R \cdot T}}$

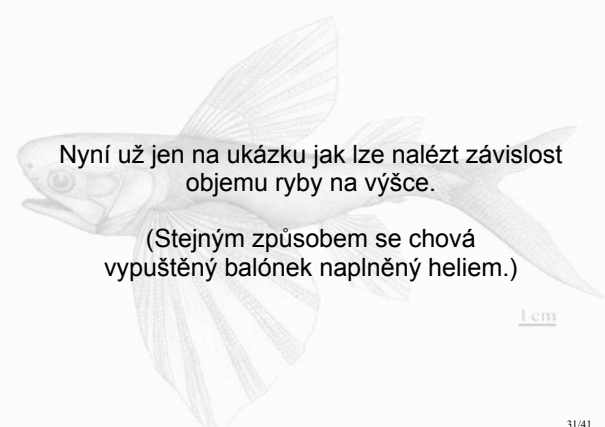
- Po dosazení hodnot $V_r = 0,7 \text{ m}^3$ $p = p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$
 $M_H = 1,008 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
 $T = 288 \text{ K} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_s = 1\,076 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$m_s \doteq 0,8 \text{ kg}$$


1cm

30/41

Příloha M – Ryby plující v mlze



Nyní už jen na ukázkou jak lze nalézt závislost objemu ryby na výšce.
(Stejným způsobem se chová vypuštěný balónek naplněný heliem.)

1cm

31/41

Diskuse

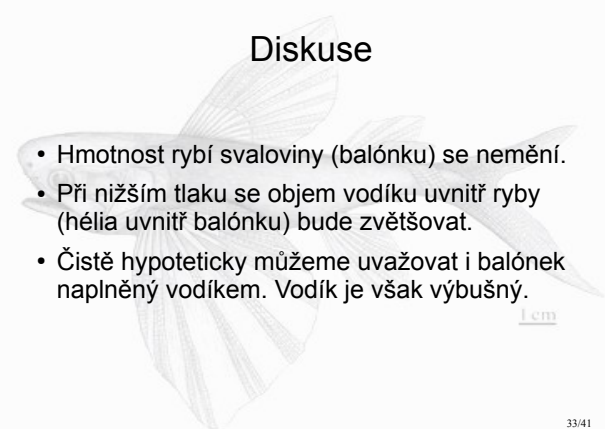


- Hmotnost rybí svaloviny (balónku) se nemění.

1cm

32/41

Diskuse




- Hmotnost rybí svaloviny (balónku) se nemění.
- Při nižším tlaku se objem vodíku uvnitř ryby (hélia uvnitř balónku) bude zvětšovat.
- Čistě hypoteticky můžeme uvažovat i balónek naplněný vodíkem. Vodík je však výbušný.

1cm

33/41

Výpočty



- Z Archimedova zákona vypočítáme závislost objemu ryby (balónku) na tlaku.


$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{Vz}}{R \cdot T}$$

$V_r = ?$

1cm

34/41

Výpočty



- Z Archimedova zákona vypočítáme závislost objemu ryby (balónku) na tlaku.

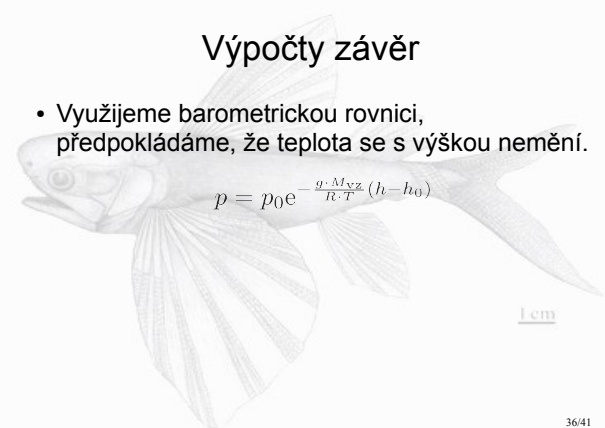
$$m_s + \left(V_r - \frac{m_s}{\rho_s} \right) \cdot \frac{M_H \cdot p}{R \cdot T} = V_r \cdot \frac{p \cdot M_{Vz}}{R \cdot T}$$

$$V_r = \frac{m_s \left(\frac{R \cdot T}{M_H \cdot p} - \frac{1}{\rho_s} \right)}{\left(\frac{M_{Vz}}{M_H} - 1 \right)}$$

1cm

35/41

Výpočty závěr



- Využijeme barometrickou rovnici, předpokládáme, že teplota se s výškou nemění.

$$p = p_0 e^{-\frac{g \cdot M_{Vz}}{R \cdot T} (h - h_0)}$$

1cm

36/41

Příloha M – Ryby plující v mlze

Výpočty závěr

- Využijeme barometrickou rovnici, předpokládáme, že teplota se s výškou nemění.

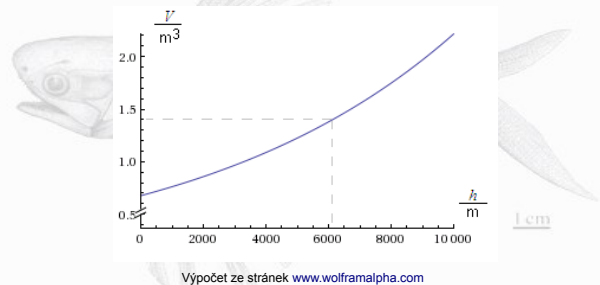
$$p = p_0 e^{-\frac{g \cdot M_{\text{vz}}}{R \cdot T} (h - h_0)}$$

- Po dosazení do předchozí rovnice

$$V_r = \frac{m_s \left(\frac{R \cdot T}{M_{\text{H}} \cdot p_0} e^{\frac{g \cdot M_{\text{vz}}}{R \cdot T} (h - h_0)} - \frac{1}{\rho_s} \right)}{\left(\frac{M_{\text{vz}}}{M_{\text{H}}} - 1 \right)}$$

37/41

Graf objemu v závislosti na výšce



38/41

Poučení

- Balónek ve výšce asi 2 km praskne, protože se jeho objem vlivem většího tlaku helia uvnitř zvětší o zhruba čtvrtinu.
- S rybou by to dopadlo stejně.

39/41

Poučení

- Balónek ve výšce asi 2 km praskne, protože se jeho objem vlivem většího tlaku helia uvnitř zvětší o zhruba čtvrtinu.
- S rybou by to dopadlo stejně.
- Některé ryby žijící ve velkých hloubkách zemřou při výlovu na hladině, protože se jim plynový měchýř roztrhne v těle.

40/41

Ukázka



<https://www.youtube.com/watch?v=ItpfWQZmBEY>

41/41

Příloha N – Dopad objektu do oceánu

Přeměny skupenství látek (vypařování)

Dopad objektu na povrch planety

O čem to bude

- Odhadneme rychlost a hmotnost dopadajícího objektu z ukázky.

2/26

O čem to bude

- Odhadneme rychlost a hmotnost dopadajícího objektu z ukázky.
- Spočítáme, kolik vody by se při dopadu mohlo z oceánu vypařit.

3/26

O čem to bude

- Odhadneme rychlost a hmotnost dopadajícího objektu z ukázky.
- Spočítáme, kolik vody by se při dopadu mohlo z oceánu vypařit.
- Ukážeme si applet počítající různé scénáře při dopadu objektů z vesmíru na povrch Země.

4/26

Ukázka



Ukázka z filmu Battleship

5/26

Diskuse

- Budeme předpokládat, že při průchodu atmosférou objekt prakticky nezmění svoji rychlost a při dopadu se většina kinetické energie přemění na teplo.

6/26

Příloha N – Dopad objektu do oceánu

Diskuse

- Budeme předpokládat, že při průchodu atmosférou objekt prakticky nezmění svoji rychlost a při dopadu se většina kinetické energie přemění na teplo.
- Reálná situace je o dost složitější, neboť objekt se v atmosféře zpomalí a zahřeje. Díky zahřátí dochází k rozpadu objektu na menší části. Dalším důležitým faktem je, že objekt větší část své energie předá vodě (pokud spadne do oceánu) a vznikne tak vlna tsunami.

7/26

Získaná data

- rychlost objektu $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

8/26

Získaná data

- rychlost objektu $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- hmotnost objektu $m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$

9/26

Získaná data

- rychlost objektu $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- hmotnost objektu $m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$
- počet objektů $n = 4$

10/26

Získaná data

- rychlost objektu $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- hmotnost objektu $m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$
- počet objektů $n = 4$
- teplota oceánu $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

11/26

Získaná data

- rychlost objektu $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- hmotnost objektu $m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$
- počet objektů $n = 4$
- teplota oceánu $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- měrná tepelná kapacita vody $c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

12/26

Příloha N – Dopad objektu do oceánu

Získaná data

- rychlost objektu $v = 30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- hmotnost objektu $m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$
- počet objektů $n = 4$
- teplota oceánu $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- měrná tepelná kapacita vody $c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- měrné skupenské teplo vypařování vody $l_v = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

13/26

Výpočty

- kinetická energie padajícího objektu

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$
 $v = 30\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$E_k = ?$$

14/26

Výpočty

- kinetická energie padajícího objektu

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$m = 5 \cdot 10^8 \text{ kg}$
 $v = 30\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$E_k = 2,25 \cdot 10^{17} \text{ J}$$

15/26

Výpočty

- teplo potřebné na vypaření části oceánu

$$Q = c_v \cdot m_v \cdot \Delta T + l_v \cdot m_v$$

$c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $l_v = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $E_k = 2,25 \cdot 10^{17} \text{ J}$ $\Delta T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

$$m_v = ?$$

16/26

Výpočty

- teplo potřebné na vypaření části oceánu

$$Q = c_v \cdot m_v \cdot \Delta T + l_v \cdot m_v$$

$c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $l_v = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $E_k = 2,25 \cdot 10^{17} \text{ J}$ $\Delta T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

$$m_v = 8,7 \cdot 10^{10} \text{ kg}$$

17/26

Výpočty

- objem vypařené vody

$$V = \frac{m_v}{\rho}$$

- Hustotu můžeme uvažovat různou, buď na povrchu oceánu při teplotě varu, nebo jako chladnější mrak ve velké výšce nad oceánem.

18/26

Příloha N – Dopad objektu do oceánu

Závěr – pára

- hustota páry $0,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- teplota páry $100 \text{ }^\circ\text{C}$
- Při tloušťce vrstvy 200 m bude mít vzniklá pára šířku a délku asi 27 km. Pro čtyři dopadající objekty by šířka a délka byla přibližně 50 km.

19/26

Závěr – mrak

- mračna těsně před bouřkou (v nasyceném stavu) obsahují v 1 m^3 zhruba 10 g vody
- Při tloušťce mraku 200 m bude mít mrak délku a šířku asi 200 km. Při dopadu čtyř objektů by vzniklý mrak měl délku a šířku 400 km.

20/26

Závěr – mrak

- mračna těsně před bouřkou (v nasyceném stavu) obsahují v 1 m^3 zhruba 10 g vody
- Při tloušťce mraku 200 m bude mít mrak délku a šířku asi 200 km. Při dopadu čtyř objektů by vzniklý mrak měl délku a šířku 400 km.
- Pro představu se jedná o plochu, která by zakryla rozlohou dvě České republiky.

21/26

Poučení

- Při dopadu větších objektů z vesmíru můžeme vždy předpokládat velké problémy pro civilizaci.

22/26

Poučení

- Při dopadu větších objektů z vesmíru můžeme vždy předpokládat velké problémy pro civilizaci.
- Podobná katastrofa pravděpodobně způsobila vymření dinosaurů na přelomu druhohor před zhruba 65 miliony lety.

23/26

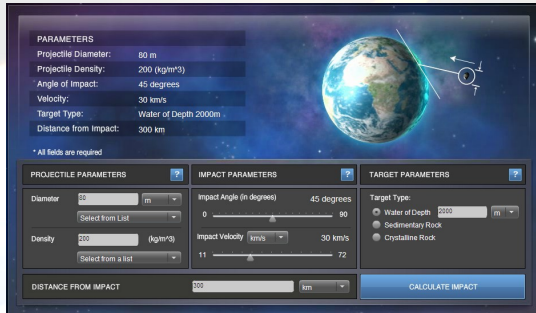
Poučení

- Při dopadu větších objektů z vesmíru můžeme vždy předpokládat velké problémy pro civilizaci.
- Podobná katastrofa pravděpodobně způsobila vymření dinosaurů na přelomu druhohor před zhruba 65 miliony lety.
- Odhaduje se, že tehdejší katastrofu způsobil objekt o hmotnosti zhruba desetmilionkrát větší, než jsme zde počítali.

24/26

Příloha N – Dopad objektu do oceánu

Applet



PARAMETERS

Projectile Diameter: 80 m
Projectile Density: 200 (kg/m³)
Angle of Impact: 45 degrees
Velocity: 30 km/s
Target Type: Water of Depth 2000m
Distance from Impact: 300 km

* All fields are required

PROJECTILE PARAMETERS	IMPACT PARAMETERS	TARGET PARAMETERS
Diameter: 80 m Selected from List	Impact Angle (in degrees): 45 degrees 0 90	Target Type: <input checked="" type="radio"/> Water of Depth 2000 m <input type="radio"/> Sedimentary Rock <input type="radio"/> Crystalline Rock
Density: 200 (kg/m ³) Selected from a list	Impact Velocity: 30 km/s 11 72	
DISTANCE FROM IMPACT: 300 km		CALCULATE IMPACT

<http://www.purdue.edu/impactearth/>

25/26

Vymírání druhů



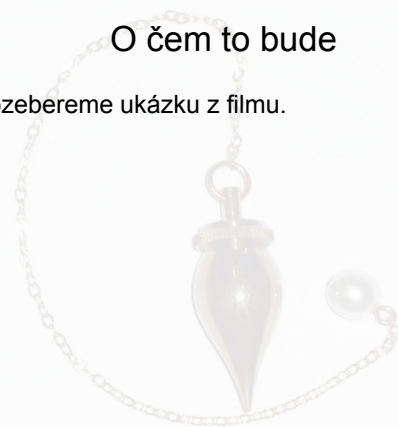
<https://www.youtube.com/watch?v=9tFhmvH41fk>

26/26

Příloha O – Kyvadlo



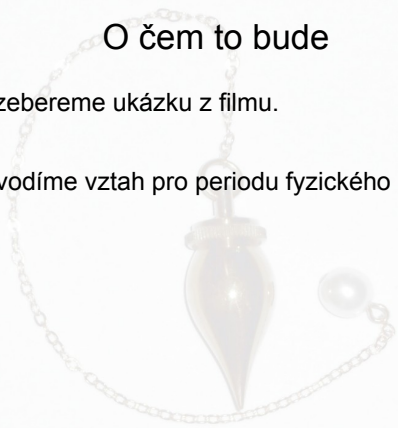
Kmity
kyvadlo a pružina



O čem to bude

- Rozebereme ukázkou z filmu.

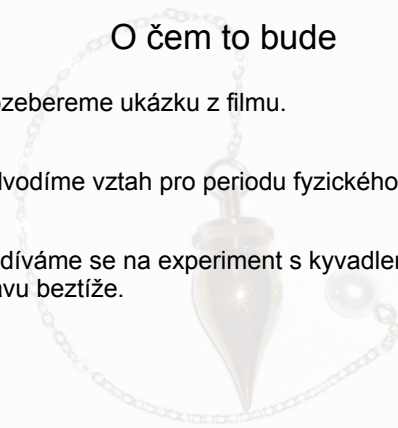
2/28



O čem to bude

- Rozebereme ukázkou z filmu.
- Odvodíme vztah pro periodu fyzického kyvadla.

3/28



O čem to bude

- Rozebereme ukázkou z filmu.
- Odvodíme vztah pro periodu fyzického kyvadla.
- Podíváme se na experiment s kyvadlem ve stavu beztlíže.

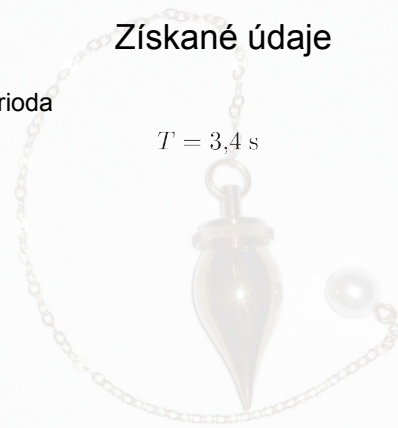
4/28

Uvedení do situace



ukázka ze seriálu „MacGyver S05E01“

5/28



Získané údaje

- perioda

$T = 3,4 \text{ s}$

6/28

Příloha O – Kyvadlo

Získané údaje

- perioda

$$T = 3,4 \text{ s}$$

- odklon od rovnovážné polohy

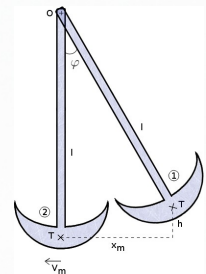
$$\varphi \doteq 30^\circ$$

7/28

Odvození

- zákon zachování energie

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$



8/28

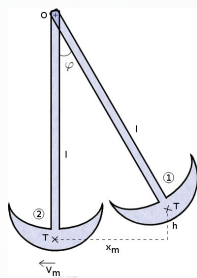
Odvození

- zákon zachování energie

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

- bez momentu setrvačnosti

$$mgh = \frac{1}{2}mv_m^2$$



9/28

Odvození

- zákon zachování energie

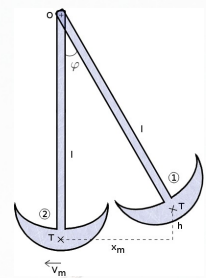
$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

- bez momentu setrvačnosti

$$mgh = \frac{1}{2}mv_m^2$$

- s momentem setrvačnosti

$$mgh = \frac{1}{2}(J_0 + ml^2)\left(\frac{v_m}{l}\right)^2$$



10/28

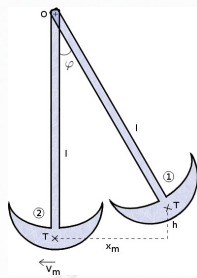
Odvození

- z obrázku určíme

$$h = l(1 - \cos \varphi) \approx \frac{1}{2}l\varphi^2$$

$$v_m = \omega \cdot x_m$$

$$x_m = l \cdot \sin \varphi \approx l \cdot \varphi$$



11/28

Odvození

- z obrázku určíme

$$h = l(1 - \cos \varphi) \approx \frac{1}{2}l\varphi^2$$

$$v_m = \omega \cdot x_m$$

$$x_m = l \cdot \sin \varphi \approx l \cdot \varphi$$

malá ukázka aproximací
úhel musí být v radiánech

$$l(1 - \cos \varphi) = l \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}\right) \approx l \left(1 - \sqrt{1 - \varphi^2}\right) \approx l \left(1 - 1 + \frac{1}{2}\varphi^2\right) = \frac{1}{2}l\varphi^2$$

12/28

Příloha O – Kyvadlo

Odvození bez momentu setrvačnosti

- pro malé úhly zákon zachování energie má tvar

$$mgh = \frac{1}{2}mv_m^2$$

13/28

Odvození bez momentu setrvačnosti

- pro malé úhly zákon zachování energie má tvar

$$h = \frac{1}{2}l\varphi^2 \quad mgh = \frac{1}{2}mv_m^2 \quad v_m = \omega \cdot l \cdot \varphi$$

$$mg \cdot \frac{1}{2}l\varphi^2 = \frac{1}{2}m \cdot \omega^2 \cdot l^2\varphi^2$$

14/28

Odvození bez momentu setrvačnosti

- pro malé úhly zákon zachování energie má tvar

$$h = \frac{1}{2}l\varphi^2 \quad mgh = \frac{1}{2}mv_m^2 \quad v_m = \omega \cdot l \cdot \varphi$$

$$mg \cdot \frac{1}{2}l\varphi^2 = \frac{1}{2}m \cdot \omega^2 \cdot l^2\varphi^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

15/28

Výpočty

- vztah pro periodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
- délka $l = ?$

16/28

Výpočty

- vztah pro periodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
- délka $l = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot g \doteq 2,9 \text{ m}$
- Bohužel se v ukázce nejedná o matematické kyvadlo, ale o fyzické kyvadlo.

17/28

Odvození s momentem setrvačnosti

- dosazením do zákona zachování energie

$$h = \frac{1}{2}l\varphi^2 \quad mgh = \frac{1}{2}(J_0 + ml^2)\left(\frac{v_m}{l}\right)^2 \quad v_m = \omega \cdot l \cdot \varphi$$

$$mg \cdot \frac{1}{2}l\varphi^2 = \frac{1}{2}(J_0 + ml^2) \cdot \omega^2 \cdot \varphi^2$$

- úhlová frekvence $\omega = ?$

18/28

Příloha O – Kyvadlo

Odvození s momentem setrvačnosti

- dosazením do zákona zachování energie

$$mgh = \frac{1}{2} (J_0 + ml^2) \left(\frac{v_m}{l} \right)^2$$

$h = \frac{1}{2} l \varphi^2$ $v_m = \omega \cdot l \cdot \varphi$

$$mg \cdot \frac{1}{2} l \varphi^2 = \frac{1}{2} (J_0 + ml^2) \cdot \omega^2 \cdot \varphi^2$$

- úhlová frekvence $\omega = \sqrt{\frac{mgl}{J_0 + ml^2}}$

19/28

Poznámka

- Ve vztahu $\omega = \sqrt{\frac{mgl}{J_0 + ml^2}}$ se $\frac{J_0 + ml^2}{ml}$ označuje jako redukovaná délka.

20/28

Výpočty

- Redukovaná délka fyzického kyvadla vychází stejně jako délka matematického kyvadla

$$l_{\text{red}} = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot g \doteq 2,9 \text{ m}$$

21/28

Závěr

- Budeme-li znát moment setrvačnosti fyzického kyvadla vůči ose procházející těžištěm, pak lze dopočítat vzdálenost fyzického kyvadla od osy otáčení k těžišti.

22/28

Závěr

- Budeme-li znát moment setrvačnosti fyzického kyvadla vůči ose procházející těžištěm, pak lze dopočítat vzdálenost fyzického kyvadla od osy otáčení k těžišti.
- Ze vztahu pro matematické kyvadlo vychází délka kyvadla $l \doteq 2,9 \text{ m}$.
- Redukovaná délka vychází stejně.

23/28

Závěr

- Budeme-li znát moment setrvačnosti fyzického kyvadla vůči ose procházející těžištěm, pak lze dopočítat vzdálenost fyzického kyvadla od osy otáčení k těžišti.
- Ze vztahu pro matematické kyvadlo vychází délka kyvadla $l \doteq 2,9 \text{ m}$.
- Redukovaná délka vychází stejně.
- Bohužel bez znalosti J_0 nemůžeme dopočítat vzdálenost osy otáčení fyzického kyvadla a jeho těžiště.

24/28

Příloha O – Kyvadlo

Ukázka z ISS

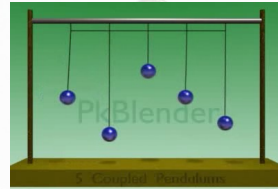


<https://www.youtube.com/watch?v=JghsCipoplC>

25/28

Poznámka

- Spřažená kyvadla si navzájem předávají mechanickou energii.

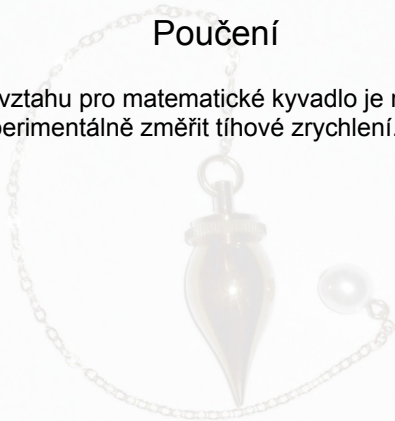


<https://www.youtube.com/watch?v=Z5rKTagEsro>

26/28

Poučení

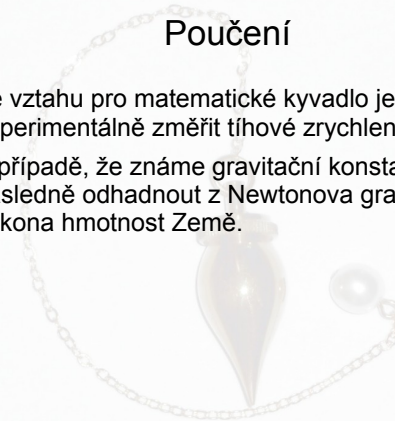
- Ze vztahu pro matematické kyvadlo je možné experimentálně změřit tíhové zrychlení.



27/28

Poučení

- Ze vztahu pro matematické kyvadlo je možné experimentálně změřit tíhové zrychlení.
- V případě, že známe gravitační konstantu, lze následně odhadnout z Newtonova gravitačního zákona hmotnost Země.



28/28

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Slunce a hvězdy

planeta v binárním hvězdném systému

O čem to bude

- Z rovnosti gravitační a dostředivé síly odhadneme hmotnost hvězdy a planety.

2/65

O čem to bude

- Z rovnosti gravitační a dostředivé síly odhadneme hmotnost hvězdy a planety.
- Z Wienova posunovacího zákona určíme, jak jsou jednotlivé hvězdy zbarvené a v jakém spektru září.

3/65

O čem to bude

- Z rovnosti gravitační a dostředivé síly odhadneme hmotnost hvězdy a planety.
- Z Wienova posunovacího zákona určíme, jak jsou jednotlivé hvězdy zbarvené a v jakém spektru září.
- Ze Stefanova-Bolzmanova zákona spočítáme hustotu zářivého toku jednotlivých hvězd na planetu.

4/65

O čem to bude

- A na závěr odvodíme intenzitu slapových sil obou hvězd a z intenzity odhadneme vliv hvězd na velikost přílivu a odlivu.

5/65

Uvedení do situace

Brian W. Aldiss, Helikonie – Léto, přeložila Hana Březáková

«Blížší slunce, Batalix, bylo ztraceno za planetou, ve vzdálenosti pouhých 1,26 astronomických jednotek.

Freyr, viditelný za nepropustným sklem jako šedá koule, jasně zářil ve vzdálenosti 240 astronomických jednotek. Jakmile od něj bude Helikonie vzdálená 236 jednotek, dosáhne perihelia, místa Freyru nejbližšího; ten čas je vzdálen pouhých sto osmnáct pozemských let. Pak budou Batalix a jeho planety opět unášeny po svých oběžných drahách pryč a k dominantnímu členu systému se přiblíží za dalších 2 592 pozemských let.»

6/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Uvedení do situace

Brian W. Aldiss, Helikonie – Léto, přeložila Hana Březáková

«Billy věděl, že planeta perihelium přežije, že teploty na rovníku se vyšplhají na padesát sedm stupňů, ale nic horšího; Helikonie má jedinečný systém homeostáze, přinejmenším tak vlivný, jako má Země, systém, který dokáže zachovat tak pevný stav rovnováhy, jak jen to bude možné.

...

Navzdory nepřítomnosti měsíce byl na Helikonii příliv. S přiblížováním Freyru vodní obal planety prožíval vzestup v přílivové síle o zhruba šedesát procent nad normální poměry v apoastronu, kdy Freyr byl přes sedm set astronomických jednotek vzdálený.»

7/65

Diskuse

- Pro jednoduchost budeme předpokládat, že uváděná tělesa se pohybují po kružnicích. Pohyb po kružnici můžeme uvažovat i v případě oběhu Batalixu kolem Freyru, v tomto případě se bude jednat o střední vzdálenost mezi Batalixem a Freyrem.

8/65

Diskuse

- Pro jednoduchost budeme předpokládat, že uváděná tělesa se pohybují po kružnicích. Pohyb po kružnici můžeme uvažovat i v případě oběhu Batalixu kolem Freyru, v tomto případě se bude jednat o střední vzdálenost mezi Batalixem a Freyrem.
- O Batalixu budeme předpokládat, že je velikostí srovnatelný se Sluncem a má velmi podobné vlastnosti.

9/65

Teorie – magnituda

- magnituda – logaritmická míra jasnosti objektů značka m

10/65

Teorie – magnituda

- magnituda – logaritmická míra jasnosti objektů značka m

- Pogsonova rovnice (pro hvězdu a a b)

$$m_a - m_b = -2,5 \log \left(\frac{L_a}{L_b} \right)$$

L označuje hustotu světelného toku hvězdy

$$[L] = W \cdot m^{-2}$$

11/65

Teorie – magnituda

- Relativní magnituda odpovídá historickému dělení hvězd do šesti skupin (0 nejjasnější, 5 nejméně jasné hvězdy ještě pozorovatelné okem).

12/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Teorie – magnituda

- Relativní magnituda odpovídá historickému dělení hvězd do šesti skupin (0 nejjasnější, 5 nejméně jasné hvězdy ještě pozorovatelné okem).
- absolutní magnituda – jasnost hvězdy vzdálené 10 parseků

13/65

Teorie – magnituda

- Relativní magnituda odpovídá historickému dělení hvězd do šesti skupin (0 nejjasnější, 5 nejméně jasné hvězdy ještě pozorovatelné okem).
- absolutní magnituda – jasnost hvězdy vzdálené 10 parseků

- vztah mezi absolutní a relativní magnitudou

$$M = m + 5 - 5 \log(r)$$

r je vzdálenost hvězdy od pozorovatele

14/65

Teorie – spektrální třída hvězd

- typ spektra závisí na povrchové teplotě hvězdy

W	O	B	A	F	G	K	M	L	T
80 000 K	60 000 K	38 000 K	15 400 K	9 000 K	6 700 K	5 400 K	3 800 K	2 200 K	1 499 K

mnemotechnická pomůcka pro zapamatování

„Olda Bude Asi Fňukat, Gustave, Kup Mu Lízátko“

- Morganova-Keenanova spektrální klasifikace řadí hvězdy podle teploty od nejteplejší po nejchladnější. K základnímu písmennému označení se dále přiřazuje ještě číselná hodnota v rozsahu od 0 do 9, přičemž 0 vyjadřuje nejteplejší hvězdu ve skupině a 9 naopak nejchladnější. Naše Slunce je hvězda třídy G2.

15/65

Hvězdy třídy O

- Typ: modří nadobří
- Barva: modrá
- Teplota povrchu: 50 000 K – 30 000 K
- Hmotnost: 20 – 50 hmotností Slunce
- Poloměr: 15 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 0,00001%
- Představitel: *Hatysa, Meka, Menkib*

16/65

Hvězdy třídy B

- Typ: nadobří, bílí trpaslíci
- Barva: modrobílá
- Teplota povrchu: 30 000 K – 11 000 K
- Hmotnost: 3,2 – 17 hmotností Slunce
- Poloměr: 7 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 0,1%
- Představitel: *Rigel, Spika*

17/65

Hvězdy třídy A

- Typ: nadobří, bílí trpaslíci, hvězdy hlavní posloupnosti
- Barva: bílomodrá
- Teplota povrchu: 11 000 K – 7 500 K
- Hmotnost: 1,8 – 3,2 hmotností Slunce
- Poloměr: 2,5 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 0,7%
- Představitel: *Sírius, Vega*

18/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Hvězdy třídy F

- Typ: nadobří, hvězdy hlavní posloupnosti
- Barva: žlutobílá
- Teplota povrchu: 7 500 K – 6 000 K
- Hmotnost: 1,2 – 1,7 hmotností Slunce
- Poloměr: 1,3 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 2%
- Představitel: *Procyon, Canopus*

19/65

Hvězdy třídy G

- Typ: nadobří, hvězdy hlavní posloupnosti
- Barva: žlutá
- Teplota povrchu: 6 000 K – 5 000 K
- Hmotnost: 0,8 – 1,1 hmotností Slunce
- Poloměr: 1,1 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 3,5%
- Představitel: *Slunce, Capella*

20/65

Hvězdy třídy K

- Typ: červení nadobří a obří, hvězdy hlavní posloupnosti
- Barva: oranžová
- Teplota povrchu: 5 000 K – 3 500 K
- Hmotnost: 0,6 – 0,8 hmotností Slunce
- Poloměr: 0,9 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 8%
- Představitel: *Arktur, Aldebaran*

21/65

Hvězdy třídy M

- Typ: červení nadobří a obří, červení trpaslíci
- Barva: červená
- Teplota povrchu: 3 500 K – 3 000 K
- Hmotnost: < 0,9 hmotností Slunce
- Poloměr: 0,4 x poloměr Slunce
- Zastoupení: 80%
- Představitel: *Antares, Betelgeuze*

22/65

Získaná data

- Freyr je hvězda spektrální třídy A
- povrchová teplota $T_F = 11\,200\text{ K}$
- hmotnost Freyru $M_F = 29,6 \cdot 10^{30}\text{ kg}$
- hvězdný poloměr $R_F = 5 \cdot 10^{10}\text{ m}$

23/65

Získaná data

- Batalix je hvězda spektrální třídy G4 obíhající Freyr
- povrchová teplota $T_B = 5\,600\text{ K}$
- hvězdný poloměr $R_B = 1,4 \cdot 10^9\text{ m}$
- perioda oběhu kolem Freyru $T_{PB} = 2\,592\text{ let}$
- vzdálenost v periastronu Freyru $r_{Bp} = 236\text{ AU} = 3,54 \cdot 10^{13}\text{ m}$
- vzdálenost v apoastronu Freyru $r_{Ba} = 700\text{ AU} = 10,5 \cdot 10^{13}\text{ m}$

24/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Získaná data

- Helikonie je terestrická planeta obíhající Batalix
- poloměr $R_H = 7\,723\text{ km}$
- perioda oběhu kolem Batalixu
 $T_{pH} = 480\text{ dne} = 41,472 \cdot 10^6\text{ s}$
- vzdálenost od Batalixu
 $r_H = 1,26\text{ AU} = 1,89 \cdot 10^{11}\text{ m}$

25/65

Získaná data

- Avernus je výzkumná stanice obíhající kolem Helikonie
- výška nad povrchem $r_A = 1\,500\text{ km}$
- hmotnost stanice $m_A = 18 \cdot 10^9\text{ kg}$
- perioda oběhu $T_{pA} = 7\,770\text{ s}$

26/65

Výpočty hmotností

- Hmotnost Helikonie odhadneme z rovnosti dostředivé a gravitační síly.

$$F_d = F_g$$

27/65

Výpočty hmotností

- Hmotnost Helikonie odhadneme z rovnosti dostředivé a gravitační síly.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot m_A = \kappa \frac{M_H \cdot m_A}{r^2}$$

28/65

Výpočty hmotností

- Hmotnost Helikonie odhadneme z rovnosti dostředivé a gravitační síly.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot m_A = \kappa \frac{M_H \cdot m_A}{r^2}$$

$m_A = 18 \cdot 10^9\text{ kg}$ $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $r_A = 1\,500\text{ km}$
 $R_H = 7\,723\text{ km}$
 $T_{pA} = 7\,770\text{ s}$
 $r = r_A + R_H$

- po dosazení $M_H = ?$

29/65

Výpočty hmotností

- Hmotnost Helikonie odhadneme z rovnosti dostředivé a gravitační síly.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot m_A = \kappa \frac{M_H \cdot m_A}{r^2}$$

$m_A = 18 \cdot 10^9\text{ kg}$ $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $r_A = 1\,500\text{ km}$
 $R_H = 7\,723\text{ km}$
 $T_{pA} = 7\,770\text{ s}$
 $r = r_A + R_H$

- po dosazení $M_H \doteq 7,7 \cdot 10^{24}\text{ kg}$

30/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Výpočty hmotností

- Hmotnost Batalixu odhadneme ze stejné rovnice.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot M_H = \varkappa \frac{M_B \cdot M_H}{r^2}$$

31/65

Výpočty hmotností

- Hmotnost Batalixu odhadneme ze stejné rovnice.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot M_H = \varkappa \frac{M_B \cdot M_H}{r^2}$$

$M_H = 7.7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
 $\varkappa = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $T_{pH} = 41,472 \cdot 10^6 \text{ s}$
 $r_H = 1,89 \cdot 10^{11} \text{ m}$

- po dosazení $M_B = ?$

32/65

Výpočty hmotností

- Hmotnost Batalixu odhadneme ze stejné rovnice.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot M_H = \varkappa \frac{M_B \cdot M_H}{r^2}$$

$M_H = 7.7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
 $\varkappa = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $T_{pH} = 41,472 \cdot 10^6 \text{ s}$
 $r_H = 1,89 \cdot 10^{11} \text{ m}$

- po dosazení $M_B = 2,3 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

33/65

Výpočet kruhové trajektorie

- Z uvedené rovnice lze vypočítat i vzdálenost, v jaké se obíhající těleso nachází.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot M_B = \varkappa \frac{M_F \cdot M_B}{r^2}$$

34/65

Výpočet kruhové trajektorie

- Z uvedené rovnice lze vypočítat i vzdálenost, v jaké se obíhající těleso nachází.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot M_B = \varkappa \frac{M_F \cdot M_B}{r^2}$$

$M_B = 2.3 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
 $M_F = 29.6 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
 $\varkappa = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $T_{pB} = 2592 \text{ let}$

- střední vzdálenost Batalixu od Freyru
 $r_{BF} = ?$

35/65

Výpočet kruhové trajektorie

- Z uvedené rovnice lze vypočítat i vzdálenost, v jaké se obíhající těleso nachází.

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot r \cdot M_B = \varkappa \frac{M_F \cdot M_B}{r^2}$$

$M_B = 2.3 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
 $M_F = 29.6 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
 $\varkappa = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $T_{pB} = 2592 \text{ let}$

- střední vzdálenost Batalixu od Freyru
 $r_{BF} = 6,9 \cdot 10^{13} \text{ m} \doteq 463 \text{ AU}$

36/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

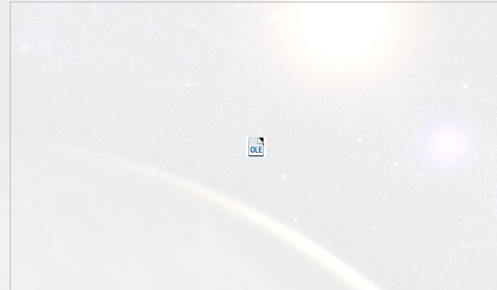
Simulace

- pohyb obou hvězd a planety lze nasimulovat v appletu
- phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system_cs.html
- Lze použít přednastavené hodnoty pro tři tělesa nebo nastavit následující odhadnuté hodnoty.

těleso	hmotnost	Poloha x	Poloha y	rychlost x	rychlost y
těleso 1	2 960	-100	0	0	0
těleso 2	230	150	0	0	300
těleso 3	0,00077	180	0	0	36

37/65

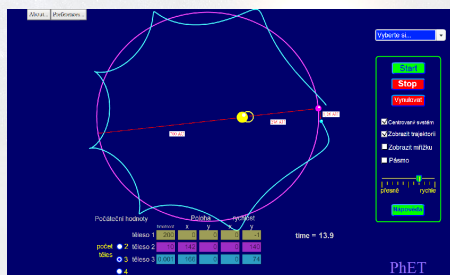
Simulace (applet)



těleso	hmotnost	Poloha x	Poloha y	rychlost x	rychlost y
těleso 1	2 960	-100	0	0	0
těleso 2	230	150	0	0	300
těleso 3	0,00077	180	0	0	36

38/65

Náhled simulace



červeně jsou vloženy údaje o vzdálenostech (simulace není v měřítku)

39/65

Výpočet zbarvení Batalixu

- Wienův posunovací zákon pro absolutně černé těleso (předpokládáme, že hvězda se chová jako absolutně černé těleso)

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $T_B = 5\,600 \text{ K}$

$$\lambda_{\max} = 517 \text{ nm}$$

40/65

Výpočet zbarvení Freyru

- Wienův posunovací zákon pro absolutně černé těleso (předpokládáme, že hvězda se chová jako absolutně černé těleso)

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

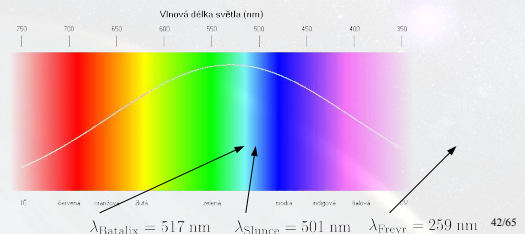
$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
 $T_F = 11\,200 \text{ K}$

$$\lambda_{\max} = 259 \text{ nm}$$

41/65

Porovnání zbarvení

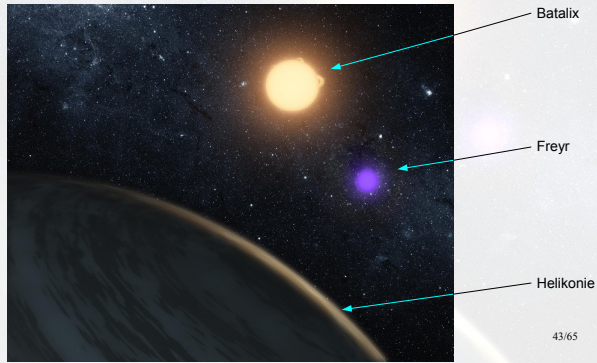
- bílá křivka naznačuje záření hvězdy o teplotě 6 000 K, asi jako naše Slunce (pozor hvězda ve skutečnosti není absolutně černé těleso, záleží také na atmosféře planety, ze které hvězdu pozorujeme)



42/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Pohled ze stanice Avernus



43/65

Výpočet hustoty zářivého toku

- využijeme upraveného Stefanova-Bolzmanaova zákona

$$L = \sigma \cdot T^4 \cdot \frac{R_h^2}{r_h^2}$$

L je hustota zářivého toku (bolometrická jasnost)
 σ je Stefanova-Boltzmannova konstanta
 T je termodynamická teplota
 R_h je poloměr hvězdy
 r_h je vzdálenost hvězdy od pozorovatele

44/65

Výpočet hustoty zářivého toku

- využijeme upraveného Stefanova-Bolzmanaova zákona

$$L = \sigma \cdot T^4 \cdot \frac{R_h^2}{r_h^2}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
 $T_b = 5600 \text{ K}$
 $R_b = 0,7 \cdot 10^9 \text{ m}$
 $r_{Bp} = 1,89 \cdot 10^{11} \text{ m}$

- po dosazení hodnot pro Batalix

$$L_{Fp} = ?$$

45/65

Výpočet hustoty zářivého toku

- využijeme upraveného Stefanova-Bolzmanaova zákona

$$L = \sigma \cdot T^4 \cdot \frac{R_h^2}{r_h^2}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
 $T_b = 5600 \text{ K}$
 $R_b = 0,7 \cdot 10^9 \text{ m}$
 $r_{Bp} = 1,89 \cdot 10^{11} \text{ m}$

- po dosazení hodnot pro Batalix

$$L_{Fp} \doteq 765 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

46/65

Výpočet hustoty zářivého toku

- využijeme upraveného Stefanova-Bolzmanaova zákona

$$L = \sigma \cdot T^4 \cdot \frac{R_h^2}{r_h^2}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
 $T_f = 11200 \text{ K}$
 $R_f = 5 \cdot 10^{10} \text{ m}$
 $r_{Bp} = 3,54 \cdot 10^{13} \text{ m}$
 $r_{Ba} = 10,5 \cdot 10^{13} \text{ m}$

- po dosazení hodnot pro Freyr

$$L_{Fp} = ? \quad L_{Fa} = ?$$

47/65

Výpočet hustoty zářivého toku

- využijeme upraveného Stefanova-Bolzmanaova zákona

$$L = \sigma \cdot T^4 \cdot \frac{R_h^2}{r_h^2}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
 $T_f = 11200 \text{ K}$
 $R_f = 5 \cdot 10^{10} \text{ m}$
 $r_{Bp} = 3,54 \cdot 10^{13} \text{ m}$
 $r_{Ba} = 10,5 \cdot 10^{13} \text{ m}$

- po dosazení hodnot pro Freyr

$$L_{Fp} \doteq 1780 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad L_{Fa} \doteq 200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

48/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Hustota zářivého toku

- v apoastronu bude na Helikonii dopadat celkem $965 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

49/65

Hustota zářivého toku

- v apoastronu bude na Helikonii dopadat celkem $965 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- v periastronu bude na Helikonii dopadat celkem $2\,545 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

50/65

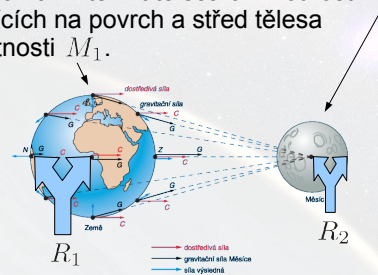
Hustota zářivého toku

- v apoastronu bude na Helikonii dopadat celkem $965 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- v periastronu bude na Helikonii dopadat celkem $2\,545 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- pro srovnání na Zemi dopadá $1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

51/65

Výpočet slapových sil

- Intenzitu slapové síly S mezi tělesy o hmotnostech M_1 a M_2 odvodíme z rozdílu gravitačních intenzit tělesa o hmotnosti M_2 působících na povrch a střed tělesa o hmotnosti M_1 .



52/65

Výpočet slapových sil

- změna gravitační intenzity

$$\Delta S = \propto \frac{M_2}{(r - R_1)^2} - \propto \frac{M_2}{r^2}$$

r je vzdálenost mezi tělesy

53/65

Výpočet slapových sil

- změna gravitační intenzity (po úpravě)

$$\Delta S = \propto M_2 \left(\frac{2 R_1 r \left(1 - \frac{1}{2} \frac{R_1}{r} \right)}{r^4 \left(1 - 2 \frac{R_1}{r} + \frac{R_1^2}{r^2} \right)} \right)$$

54/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Výpočet slapových sil

- změna gravitační intenzity (po úpravě)

$$\Delta S = \varkappa M_2 \left(\frac{2 R_1 r \left(1 - \frac{R_1}{r} \right)}{r^4 \left(1 - \frac{R_1}{r} + \frac{R_1^2}{r^2} \right)} \right)$$

- protože $r \gg R_1$ můžeme některé členy zanedbat

$$\Delta S \doteq \frac{2\varkappa M_2 \cdot R_1}{r^3}$$

55/65

Výpočet slapových sil

- intenzita slapových sil na Helikonii od Batalixu

$$\Delta S \doteq \frac{2\varkappa M_2 \cdot R_H}{r^3}$$

$M_B = 2,3 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ $R_H = 7723 \text{ km}$
 $r_{BH} = 1,89 \cdot 10^{11} \text{ m}$

$$\Delta S = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

56/65

Výpočet slapových sil

- intenzita slapových sil na Helikonii od Freyru

$$\Delta S \doteq \frac{2\varkappa M_2 \cdot R_H}{r^3}$$

$M_F = 29,6 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ $R_H = 7723 \text{ km}$
 $r_{BF} = 3,54 \cdot 10^{13} \text{ m}$

$$\Delta S = 0,68 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Freyr prakticky nemá vliv.

57/65

Závěr

- Helikonie je velmi podobná Zemi jak svojí hmotností $M_H \doteq 7,7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, tak tíhovým zrychlením na povrchu $8,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. (Odhadneme z gravitační intenzity na povrchu Helikonie.)

58/65

Závěr

- Helikonie je velmi podobná Zemi jak svojí hmotností $M_H \doteq 7,7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, tak tíhovým zrychlením na povrchu $8,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. (Odhadneme z gravitační intenzity na povrchu Helikonie.)
- Batalix je velmi podobný našemu Slunci.

59/65

Závěr

- Helikonie je velmi podobná Zemi jak svojí hmotností $M_H \doteq 7,7 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, tak tíhovým zrychlením na povrchu $8,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. (Odhadneme z gravitační intenzity na povrchu Helikonie.)
- Batalix je velmi podobný našemu Slunci.
- Batalix září stejně jako Slunce, a to žlutozeleně, Freyr září v ultrafialovém spektru. Pozorovatelům na povrchu Helikonie by se Freyr měl jevit fialově zbarvený.

60/65

Příloha P – Planeta v binárním hvězdném systému

Závěr

- S vlnovými délkami je spojen ještě jeden fakt: za osm milionů let by se měli živočichové adaptovat tak, že by měli být schopni vidět i v ultrafialovém oboru spektra. Další jejich adaptací by měla být tmavá barva pokožky, což autor uvádí.

61/65

Závěr

- Je celkem hezky vidět, že Batalix září méně než Slunce, a proto může být větší část povrchu Helikonie během celého malého roku pod sněhem. Přidáme-li však k těmto hodnotám intenzitu záření Freyru, dostáváme v apoastronu hodnoty intenzity záření zhruba srovnatelné s hodnotou intenzity záření na Zemi při jarní rovnodennosti na 50° severní či jižní šířky.

62/65

Závěr

- V periastronu se hodnota intenzity záření zvětší až dvojnásobně oproti Zemi, to by znamenalo, že polární čepičky by měly prakticky celé roztát. Autor však bohužel nic takového nepopisuje.

63/65

Závěr

- V periastronu se hodnota intenzity záření zvětší až dvojnásobně oproti Zemi, to by znamenalo, že polární čepičky by měly prakticky celé roztát. Autor však bohužel nic takového nepopisuje.
- Vliv Freyru na příliv v apoastronu a periastronu je zcela zanedbatelný. Mnohem větší vliv bude mít hvězda Batalix. Velikost přílivu a odlivu můžeme odhadnout podle parametrů pro Zemi, řádově se bude jednat o centimetry. Na Helikonii pak bude příliv a odliv dvakrát za jeden helikonský den.

64/65

Poučení

- Při psaní sci-fi literatury je nutné často kontrolovat příběh s výpočty.

(Autor Brian W. Aldiss založil příběh trilogie na astronomických faktech a držel se pečlivě fyzikálních zákonů.)

65/65

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Gravitační síla v blízkosti hmotných objektů

závěrečná stádia hvězd

O čem to bude

- Popíšeme si závěrečná stádia hvězd a podmínky, při nichž se hvězda dostane do hoto stádia.

2/62

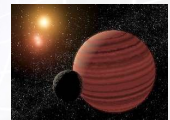
O čem to bude

- Popíšeme si závěrečná stádia hvězd a podmínky, při nichž se hvězda dostane do hoto stádia.
- Ověříme popis uvedený v knize.
- Ukážeme si, co se stane v blízkosti černé díry.

3/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Hnědý trpaslík (gigantická koule plynu)



- počáteční hmotnost $M = 0,013$ až $0,075 M_{\odot}$
- odhad poloměru $R \sim 70\,000$ km $< R_{\odot}$
- teplota na povrchu $T = 1\,000$ °C až $3\,000$ °C

$$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$R_{\odot} = 700\,000 \text{ km}$$

4/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Hnědý trpaslík

- Pokud je hmotnost hvězdy malá, nezažehne se v jádru fúze (slučování vodíku) a hvězda po svém vzniku pouze chladne a prakticky nezáří. (Slučuje sice lithium, ale to nevystačí na dlouho.)

5/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Hnědý trpaslík

- Pokud je hmotnost hvězdy malá, nezažehne se v jádru fúze (slučování vodíku) a hvězda po svém vzniku pouze chladne a prakticky nezáří. (Slučuje sice lithium, ale to nevystačí na dlouho.)
- Její poloměr se postupně zmenšuje a v okamžiku, kdy gravitace (spíše tlak) stlačí jádro natolik, že vznikne takzvaný degenerovaný elektronový plyn, její život končí a dále se již nijak zajímavě neprojevuje.

6/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Hvězda hlavní posloupnosti



- počáteční hmotnost neomezena
- odhad poloměru téměř libovolný
- teplota na povrchu různá

7/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Hvězda hlavní posloupnosti

- Pokud je hmotnost dostatečná, zažehne se v jádru fúze (slučování vodíku) a hvězda září, dokud nespotřebuje většinu vodíku ve svém jádře. Pokud má dostatečnou hmotnost, může se zažehnout i další fúzní reakce (spalování helia, uhlíku, kyslíku atd. až po železo)

8/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Hvězda hlavní posloupnosti

- Pokud je hmotnost dostatečná, zažehne se v jádru fúze (slučování vodíku) a hvězda září dokud nespotřebuje většinu vodíku ve svém jádře. Pokud má dostatečnou hmotnost, může se zažehnout i další fúzní reakce (spalování helia, uhlíku, kyslíku atd. až po železo)
- Její poloměr se postupně s dalšími reakcemi zvětšuje, jádro se však postupně zmenšuje. Díky gravitaci či tlaku záření se opět stlačuje jádro natolik, že uvnitř vzniká degenerovaný elektronový plyn. Život hvězdy končí explozí (zažehnou se reakce na povrchu jádra a hvězda odhodí obal).

9/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Bílý trpaslík (gigantická molekula)



- počáteční hmotnost $M < 11 M_{\odot}$
- odhad poloměru $R \sim 7\,000 \text{ km} \doteq R_{\text{Země}}$
- teplota na povrchu $T = 5\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $70\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- hmotnost po odhození svrchní vrstvy

$$0,075 M_{\odot} < M < 1,4 M_{\odot}$$

$$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Země}} = 6\,378 \text{ km}$$

10/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Bílý trpaslík

- Jádro je tvořeno degenerovaným elektronovým plynem. Elektrony se kolem jader atomů nepohybují po orbitech, ale jsou vtlačeny do blízkosti jader atomů a zde se pohybují volně.

11/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Bílý trpaslík

- Jádro je tvořeno degenerovaným elektronovým plynem. Elektrony se kolem jader atomů nepohybují po orbitech, ale jsou vtlačeny do blízkosti jader atomů a zde se pohybují volně.
- Mimo silné gravitační pole tato látka nemůže existovat.
- Pojmem „degenerovaný elektronový plyn“ se také označuje běžná hmota za velmi nízkých teplot.

12/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Degenerovaný elektronový plyn

- Svými mechanickými, tepelnými a elektrickými vlastnostmi připomíná pozemské kovy, neboť se stává výborným vodičem tepla a elektřiny. Jsou zde jen dva drobné rozdíly, bod tání elektronově degenerované látky je řádově 10^9 K a v kovech se volné elektrony pohybují daleko od jader v takzvaném vodivostním pásu, kdežto v elektronově degenerovaném plynu se pohybují mezi jádry.

13/62

Degenerovaný elektronový plyn

- Degenerovaný elektronový plyn je také velmi obtížně stlačitelný, neboť se zde uplatňuje kvantově mechanický efekt zvaný „Pauliho vylučovací princip“, který zakazuje dvěma různým fermionům v soustavě zaujmout tentýž kvantový stav. Tímto efektem se zamezí dalšímu přibližování elektronů k jádrům. Jestliže by se intenzita gravitačního pole dále zvyšovala, pak by došlo ke vtlačení elektronů do protonů a látka by se takzvaně neutronizovala.

14/62

Supermanův klíč



ukázka z filmu All Star Superman

15/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Neutronová hvězda (gigantický atom)



- počáteční hmotnost $M < 30 M_{\odot}$
- odhad poloměru $R \sim 7 \text{ km} \doteq R_{\text{Plz}}^{\text{ně}}$
- teplota na povrchu $T \sim 1\,000\,000 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- hmotnost po odhození svrchní vrstvy

$$1,4 M_{\odot} < M < 3 M_{\odot}$$

$$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Plz}}^{\text{ně}} \sim \text{poloměr pomyslné kružnice}$$

16/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Neutronová hvězda

- Jádro je složeno pouze z neutronů (elektrony zde byly vtlačeny do protonů). Často se tento stav označuje jako degenerovaný neutronový plyn. Na povrchu se nachází degenerovaný elektronový plyn, zde intenzita gravitačního pole není tak velká.

17/62

Vězení



ukázka ze seriálu Doctor Who S06E02

18/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Černá díra (zamrzlá hvězda)



- počáteční hmotnost $M > 50 M_{\odot}$
- odhad Schwarzschildova poloměru $R = 2 \frac{\kappa M}{c^2}$
- hmotnost po odhození svrchní vrstvy $M > 3 M_{\odot}$

$$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

19/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Černá díra

- O tom v jakém stavu se nachází hmota uvnitř není nic známo. Teorie napovídá, že se vše zhroutí do jednoho bodu.

20/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

Černá díra

- O tom v jakém stavu se nachází hmota uvnitř není nic známo. Teorie napovídá, že se vše zhroutí do jednoho bodu.
- Pro popis má význam Schwarzschildův poloměr. Pod touto hranicí není ani světlo schopno opustit gravitační působení černé díry. Těsně nad touto hranicí se světlu může podařit opustit černou díru, ale vše hmotnější a pomalejší spadne dovnitř.

21/62

Vlastnosti černé díry



ukázka ze seriálu Simpsonovi S24E02

22/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

- V okamžiku, kdy se začneme zabývat degenerovaným plynem, již nelze použít vztahy klasické fyziky.

23/62

Teorie – závěrečná stádia hvězd

- V okamžiku, kdy se začneme zabývat degenerovaným plynem, již nelze použít vztahy klasické fyziky.
- Je nutno počítat se vztahy platnými pro kvantovou fyziku!

24/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Uvedení do situace – Čílové

Robert L. Forward, DRAČÍ VEJCE

«Nejprve byl vyslechnut příspěvek gravitačních inženýrů, kteří popisovali nejčerstvější výsledky testů s řízenou gravitací a inerčními pohonnými jednotkami. Inerční motory představovaly pohonný mechanismus umožňující dosáhnout únikové rychlosti rovnající se třiceti devíti procentům rychlosti světla a opustit tak sféru přitažlivosti neutronové hvězdy. Nicméně nejnebezpečnější částí cestování do vesmíru zůstával i nadále problém explozivní dekomprese neutronové hmoty (tedy i hmoty cestovatele!) poté, co přestane být stlačována gravitačním působením hvězdy. I tento problém se však již inženýrům podařilo vyřešit.»

25/62

Uvedení do situace – Čílové

Robert L. Forward, DRAČÍ VEJCE

«Aby mohli přežít ve volném vesmíru, museli si čílové s sebou přivést svou vlastní gravitaci. Jejich hlavní loď byla vlastně tvrdá krystalická koule o průměru přibližně čtyř centimetrů, obsahující ve svém nitru poměrně „velkou“ černou díru. Svou hmotností 11 miliard tun vytvářela na povrchu krystalové lodě gravitační pole 180 000 g. Přestože se tato hodnota ani zdaleka neblížila 67 miliardám g, ve kterých žili čílové na povrchu hvězdy, byla plně dostačující na to, aby uchovála hmotu jejich těl v degenerované podobě. Pomocné moduly představovaly jakési zmenšené verze hlavní lodi. Rozměry těchto jednoposádkových strojů a nákladových tahačů už nebyly tak velké, takže do každého stačilo umístit mnohem menší černou díru.»

26/62

Diskuse

- Interval hmotnosti pro existenci neutronové hvězdy: $M \in (1,4 M_{\odot}; 3 M_{\odot})$

27/62

Diskuse

- Interval hmotnosti pro existenci neutronové hvězdy: $M \in (1,4 M_{\odot}; 3 M_{\odot})$
- Hmotnost $1,4 M_{\odot}$ se označuje jako Chandrasekharova mez a popisuje hranici mezi bílým trpaslíkem a neutronovou hvězdou.

28/62

Diskuse

- Interval hmotnosti pro existenci neutronové hvězdy: $M \in (1,4 M_{\odot}; 3 M_{\odot})$
- Hmotnost $1,4 M_{\odot}$ se označuje jako Chandrasekharova mez a popisuje hranici mezi bílým trpaslíkem a neutronovou hvězdou.
- Velikost číly je řádově několik milimetrů, hmotností je srovnatelný s člověkem.

29/62

Získaná data

- povrchové zrychlení na neutronové hvězdě (Dračím vejci) $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

30/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Získaná data

- povrchové zrychlení na neutronové hvězdě (Dračím vejci) $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- poloměr hvězdy $R_{DV} = 10 \text{ km}$

31/62

Získaná data

- povrchové zrychlení na neutronové hvězdě (Dračím vejci) $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- poloměr hvězdy $R_{DV} = 10 \text{ km}$
- hmotnost hlavní lodi čílů $m_L = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$

32/62

Získaná data

- povrchové zrychlení na neutronové hvězdě (Dračím vejci) $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- poloměr hvězdy $R_{DV} = 10 \text{ km}$
- hmotnost hlavní lodi čílů $m_L = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
- poloměr hlavní lodi čílů $r_L = 0,02 \text{ m}$

33/62

Získaná data

- povrchové zrychlení na neutronové hvězdě (Dračím vejci) $K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- poloměr hvězdy $R_{DV} = 10 \text{ km}$
- hmotnost hlavní lodi čílů $m_L = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
- poloměr hlavní lodi čílů $r_L = 0,02 \text{ m}$
- gravitační zrychlení na povrchu lodi (intenzita gravitačního pole)
 $K_L = 1,8 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

34/62

Výpočty

(hmotnost neutronové hvězdy)

- intenzita gravitačního pole (Newton)

$$K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$K = \varkappa \cdot \frac{M}{R^2}$$

$$\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$M = ? \cdot M_{\odot}$$

$$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

35/62

Výpočty

(hmotnost neutronové hvězdy)

- intenzita gravitačního pole (Newton)

$$K_{DV} = 67 \cdot 10^{10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$K = \varkappa \cdot \frac{M}{R^2}$$

$$\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$M = 0,5 M_{\odot}$$

$$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

36/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Výpočty
(hmotnost neutronové hvězdy)

- intenzita gravitačního pole (degenerovaný plyn)

$$R_{\text{DV}} = 10 \text{ km}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$R_{\text{NH}} = \frac{3^{\frac{4}{3}} \hbar^2 \pi^{\frac{2}{3}}}{2^{\frac{4}{3}} \kappa m_n^{\frac{8}{3}}} \cdot M^{-\frac{1}{3}}$$

$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

$M = ? \cdot M_{\odot}$

$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

37/62

Výpočty
(hmotnost neutronové hvězdy)

- intenzita gravitačního pole (degenerovaný plyn)

$$R_{\text{DV}} = 10 \text{ km}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$R_{\text{NH}} = \frac{3^{\frac{4}{3}} \hbar^2 \pi^{\frac{2}{3}}}{2^{\frac{4}{3}} \kappa m_n^{\frac{8}{3}}} \cdot M^{-\frac{1}{3}}$$

$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

$M = 1,86 M_{\odot}$

$M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

38/62

Výpočty
(intenzita gravitačního pole)

Intenzita gravitačního pole pro vytvoření degenerovaného elektronového plynu

- vyjdeme z rovnosti energie gravitačního pole a energie elektronu v atomu vodíku

$$\kappa \frac{m_e \cdot M_{\text{DV}}}{R_{\text{DV}}} = \frac{m_e \cdot e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2} \quad / \cdot \frac{1}{R_{\text{DV}}}$$

39/62

Výpočty
(intenzita gravitačního pole)

Intenzita gravitačního pole pro vytvoření degenerovaného elektronového plynu

- vyjdeme z rovnosti energie gravitačního pole a energie elektronu v atomu vodíku

$$\kappa \frac{m_e \cdot M_{\text{DV}}}{R_{\text{DV}}} = \frac{m_e \cdot e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2} \quad / \cdot \frac{1}{R_{\text{DV}}}$$

- víme-li, že intenzita gravitačního pole je

$$K = \kappa \cdot \frac{M_{\text{DV}}}{R_{\text{DV}}^2}$$

40/62

Výpočty
(intenzita gravitačního pole)

Intenzita gravitačního pole pro vytvoření degenerovaného elektronového plynu

- po úpravě

$$K = \frac{e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2 \cdot R_{\text{DV}}}$$

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $R_{\text{DV}} = 10 \text{ km}$
 $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$K = ?$

41/62

Výpočty
(intenzita gravitačního pole)

Intenzita gravitačního pole pro vytvoření degenerovaného elektronového plynu

- po úpravě

$$K = \frac{e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2 \cdot R_{\text{DV}}}$$

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $R_{\text{DV}} = 10 \text{ km}$
 $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$K \doteq 239 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

42/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Výpočty (intenzita gravitačního pole)

Intenzita gravitačního pole pro vytvoření degenerovaného elektronového plynu

- po úpravě

$$K = \frac{e^4}{8 \epsilon_0^2 \cdot h^2 \cdot R_{DV}}$$

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
 $R_{DV} = 10 \text{ km}$
 $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

$$K \doteq 239 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

- což je 100× více než uvádí autor
($K_L = 1,8 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

43/62

Výpočty (energie degenerované hmoty ve vakuu)

- rovnice β–rozpadu neutronu

$$\overset{\text{neutron}}{n} \rightarrow \overset{\text{proton}}{p} + \overset{\text{elektron}}{e^-} + \overset{\text{neutrino}}{\nu}$$

- klidová hmotnost neutronu $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- klidová hmotnost protonu $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- klidová hmotnost elektronu $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

44/62

Výpočty (energie degenerované hmoty ve vakuu)

- hmotnostní defekt v předchozí reakci

$$\Delta m = 1,39 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

- dosadíme do $E = m \cdot c^2$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$E = 1,25 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

- uvolněná energie z jednoho neutronu

45/62

Výpočty (energie degenerované hmoty ve vakuu)

- počet neutronizovaných neutronů ze kterých by se číla v jádru neutronové hvězdy skládala

$$2 \cdot 10^{28}$$

- energie uvolněná z degenerované hmoty jeho těla ve vakuu

$$2 \cdot 10^{15} \text{ J} \sim 0,5 \text{ Mt TNT}$$

- což je asi 40 bomb dopadnuvších na Hirošimu (naštěstí většinu energie odnesou neutrina)

46/62

Výpočty (intenzita gravitačního pole a slapové síly)

- intenzita gravitačního pole

$$K = \varkappa \frac{M}{r^2}$$

47/62

Výpočty (intenzita gravitačního pole a slapové síly)

- intenzita gravitačního pole

$$K = \varkappa \frac{M}{r^2}$$

$\varkappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $m = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
 $m_p = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ kg}$
 $r = 15 \text{ m}$
 $r_p = 1 \text{ m}$

intenzita hlavní lodi $K = 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

intenzita pomocného modulu $K = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

48/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Výpočty (intenzita gravitačního pole a slapové síly)

- intenzita gravitačního pole

$$K = \kappa \frac{M}{r^2}$$

$\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $m = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
 $m = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ kg}$
 $r = 15 \text{ m}$
 $r_p = 1 \text{ m}$

intenzita hlavní lodi
 $K = 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

intenzita pomocného modulu
 $K = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

49/62

Výpočty (intenzita gravitačního pole a slapové síly)

- slapové síly v případě volného pádu člověka o výšce $1,8 \text{ m} = 2 \cdot R$

$$S \doteq \frac{2\kappa R \cdot M}{r^3}$$

50/62

Výpočty (intenzita gravitačního pole a slapové síly)

- slapové síly v případě volného pádu člověka o výšce $1,8 \text{ m} = 2 \cdot R$

$$S \doteq \frac{2\kappa R \cdot M}{r^3}$$

$\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $m = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
 $m_p = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ kg}$
 $r = 15 \text{ m}$
 $r_p = 1 \text{ m}$

slapová síla hlavní lodi
 $S = 0,4 \text{ N}$

slapová síla pomocného modulu
 $S \doteq 8 \text{ N}$

51/62

Výpočty (intenzita gravitačního pole a slapové síly)

- slapové síly v případě volného pádu člověka o výšce $1,8 \text{ m} = 2 \cdot R$

$$S \doteq \frac{2\kappa R \cdot M}{r^3}$$

$\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
 $m = 11 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
 $m = 4,5 \cdot 10^{11} \text{ kg}$
 $r = 15 \text{ m}$
 $r_p = 1 \text{ m}$

slapová síla hlavní lodi
 $S = 0,4 \text{ N}$

slapová síla pomocného modulu
 $S \doteq 8 \text{ N}$

52/62

Závěr

- Lidé by kontakt vnímali spíše jako útok, při kterém by výzkumníci z čílských řad postupně explodovali na orbitě své neutronové hvězdy.

53/62

Závěr

- Lidé by kontakt vnímali spíše jako útok, při kterém by výzkumníci z čílských řad postupně explodovali na orbitě své neutronové hvězdy.
- Jeden kilogram elektronově degenerované látky by uvolnil energii srovnatelnou s energií při explozi 0,5 Mt TNT (Trinitrotoluenu).

54/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Závěr

- Velmi zajímavá je úvaha o slapových silách. Jestliže by člověk volně padal (po hlavě) do černé díry, pak by nevnímal gravitační sílu, ale slapové síly, které by ho natahovaly. V blízkosti malých černých děr navíc dochází v místech blíže k černé díře ke stlačování padajícího objektu, v našem případě ke stlačování hlavy. U velkých černých děr stlačování bude zanedbatelné, natahování však velké.

55/62

Poučení

- Při pohybu kolem miniaturních černých děr je přece jenom dobré se něčeho držet, neboť gravitační intenzita v blízkosti může být velká.

56/62

Poučení

- Při pohybu kolem miniaturních černých děr je přeci jenom dobré se něčeho držet, neboť gravitační intenzita v blízkosti může být velká.
- Též je potřeba vyhnout se blízkému kontaktu, neboť při přiblížení se začnou uplatňovat především slapové síly, které mohou být mnohem nebezpečnější než samotná intenzita gravitačního pole.

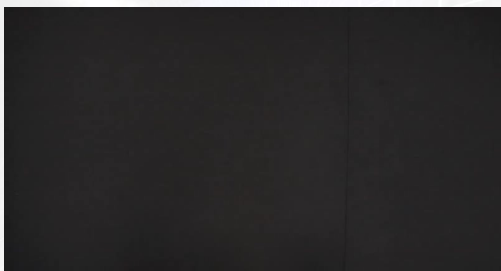
57/62

Poučení

- Není vhodné si hrát s neutronově degenerovanou hmotou ve stavu beztlíže, neboť je poměrně dosti výbušná a při výbuchu uvolňuje neutrina. (Většinu energie našťěstí získají neutrina, která s běžnou hmotou prakticky neinteragují).

58/62

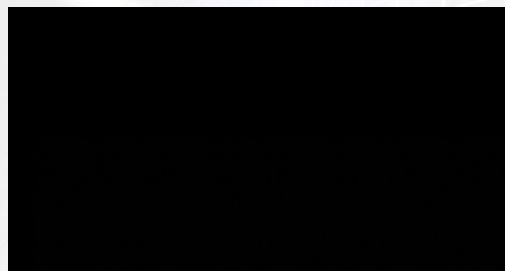
Pád do černé díry (Vsauce)



<https://www.youtube.com/watch?v=3pAnRKD4raY>

59/62

Pád do černé díry (stargazer)



https://www.youtube.com/watch?v=OGn_w-3pjMc
(pouze v anglickém znění bez titulků)

60/62

Příloha Q – Závěrečná stádia hvězd

Slapové síly poblíže černé díry



StarGate S02E16

61/62

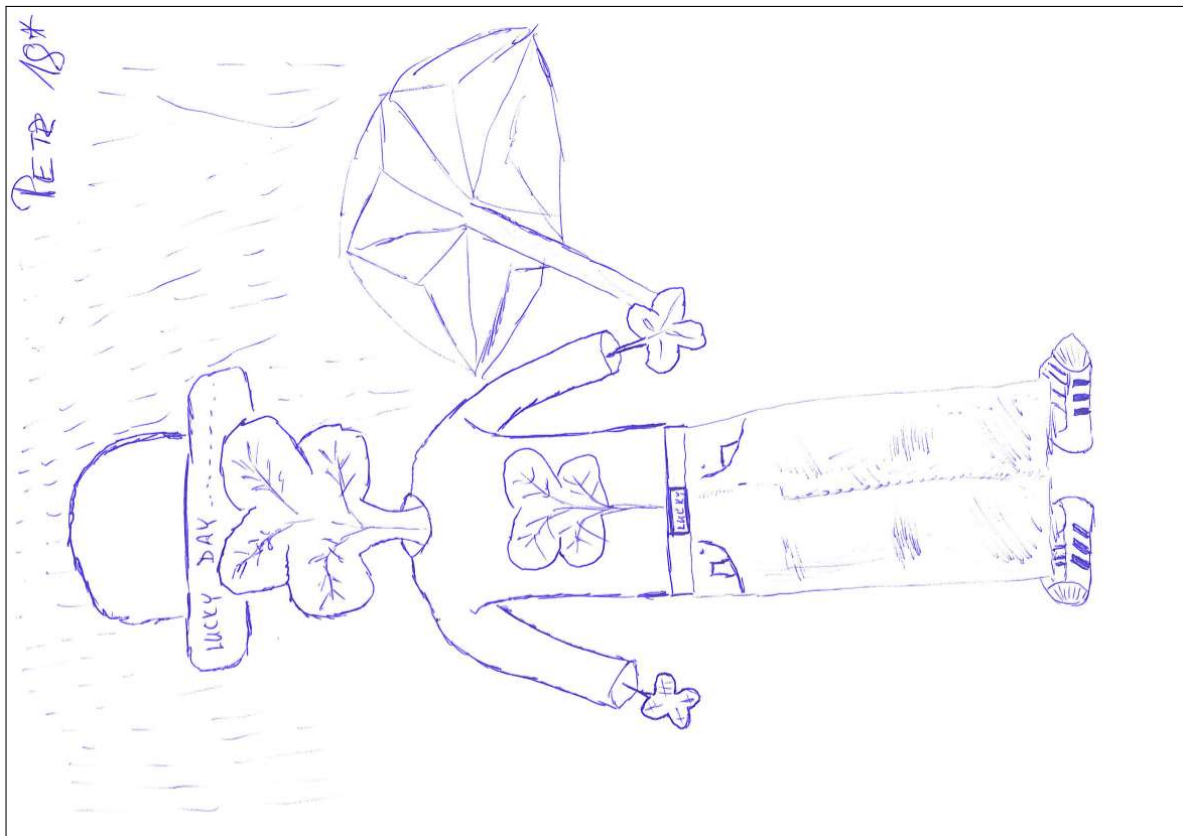
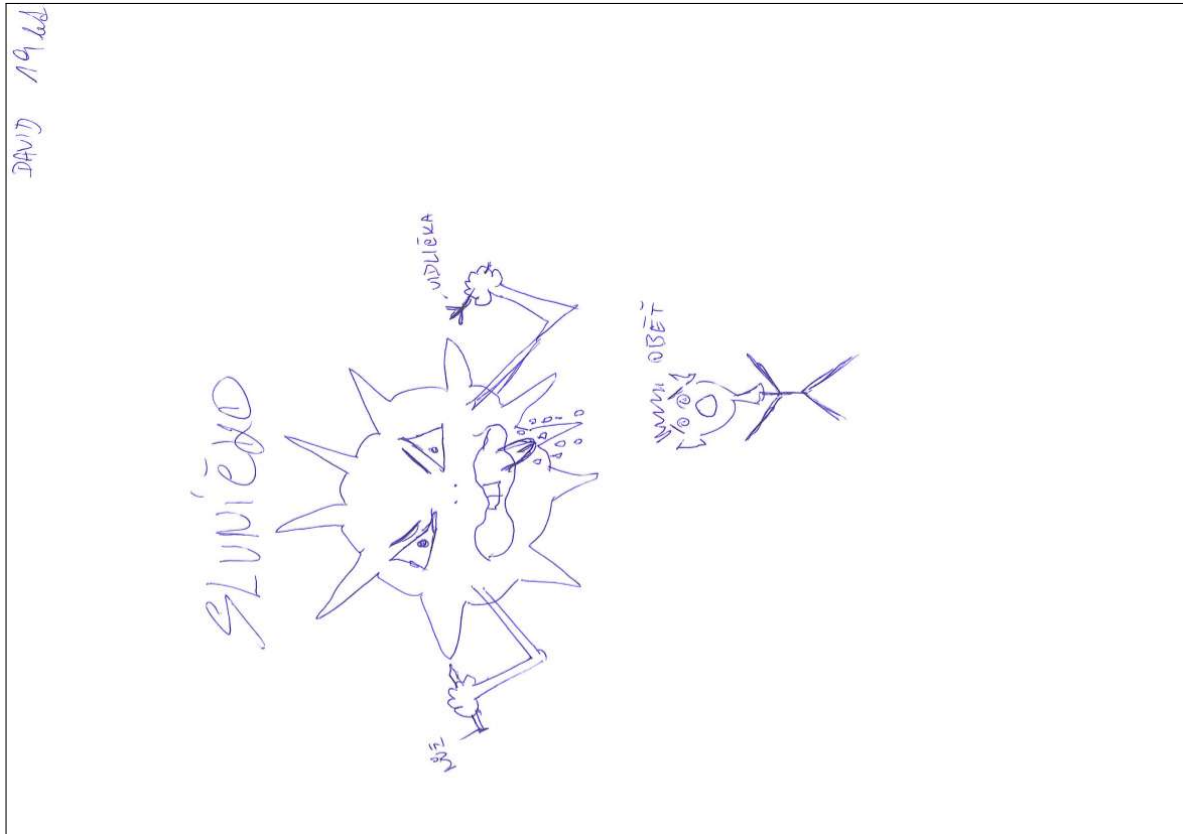
Jak funguje červí (černá) díra



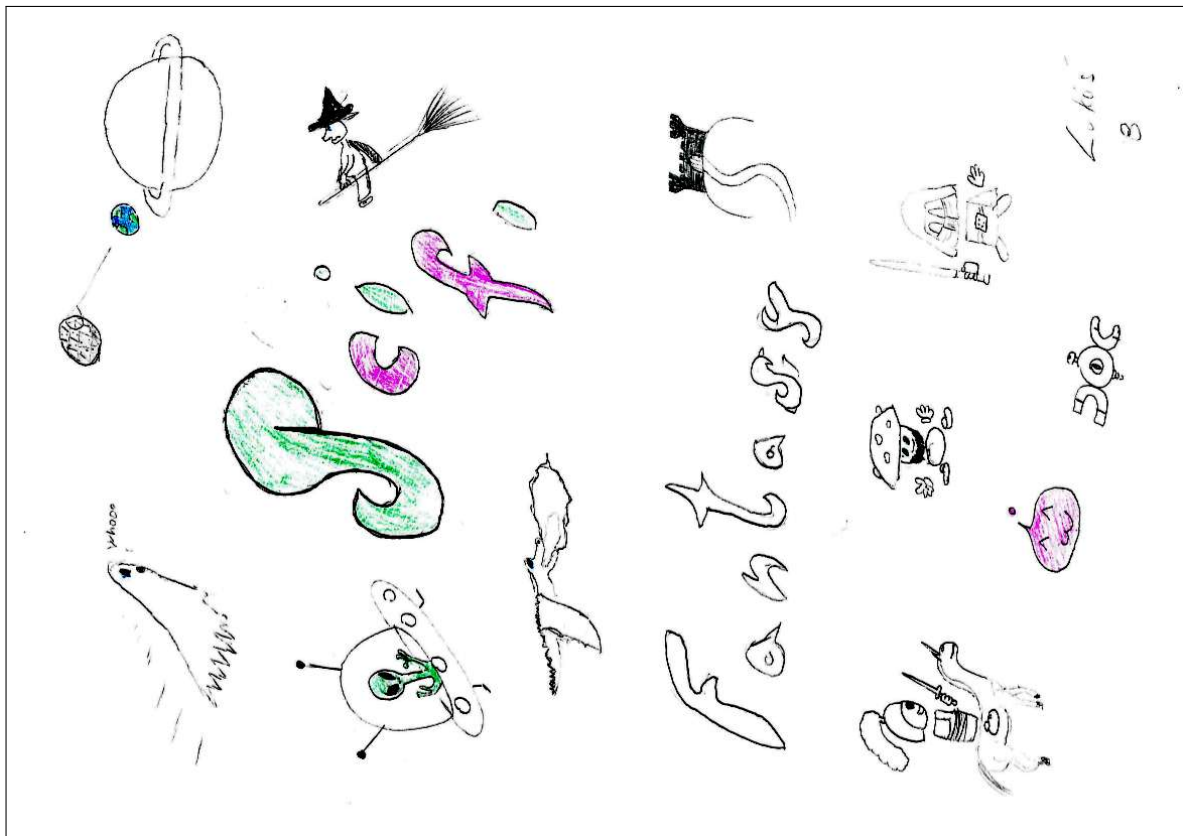
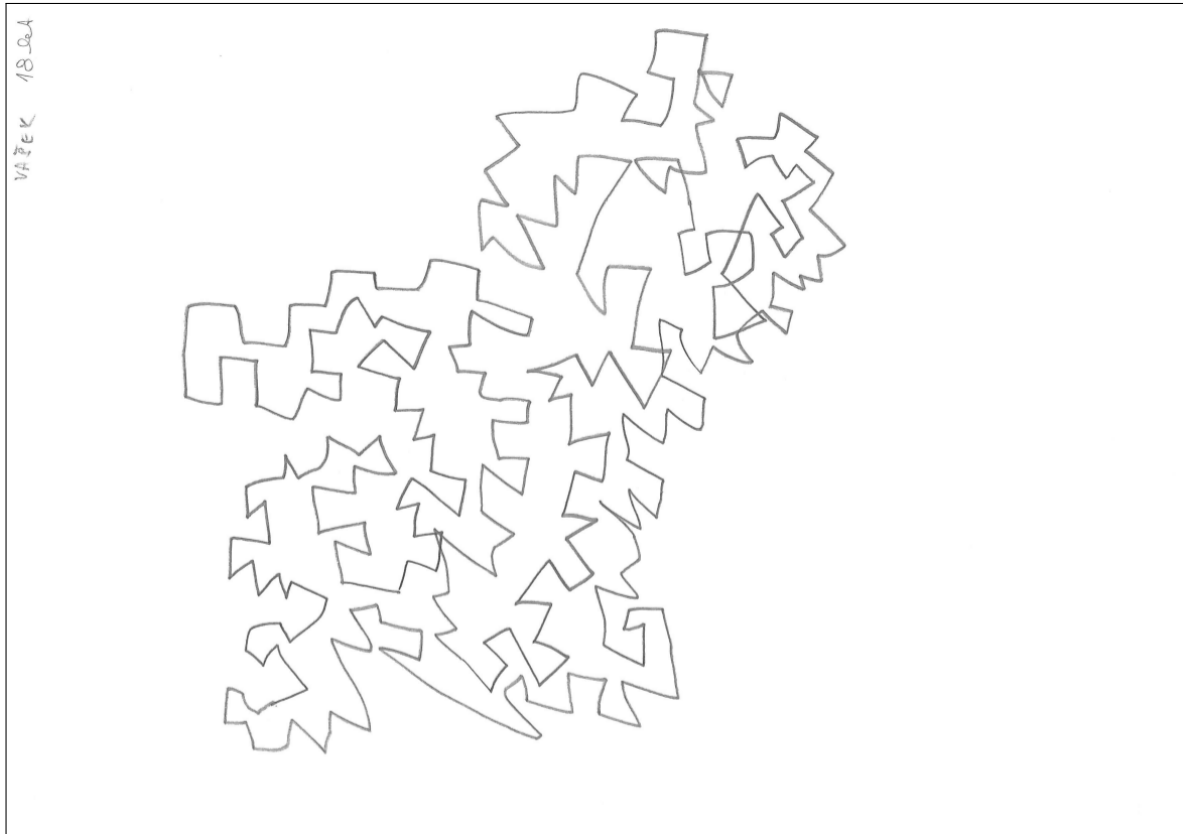
<https://www.youtube.com/watch?v=YZFpIY7Z9bg>

62/62

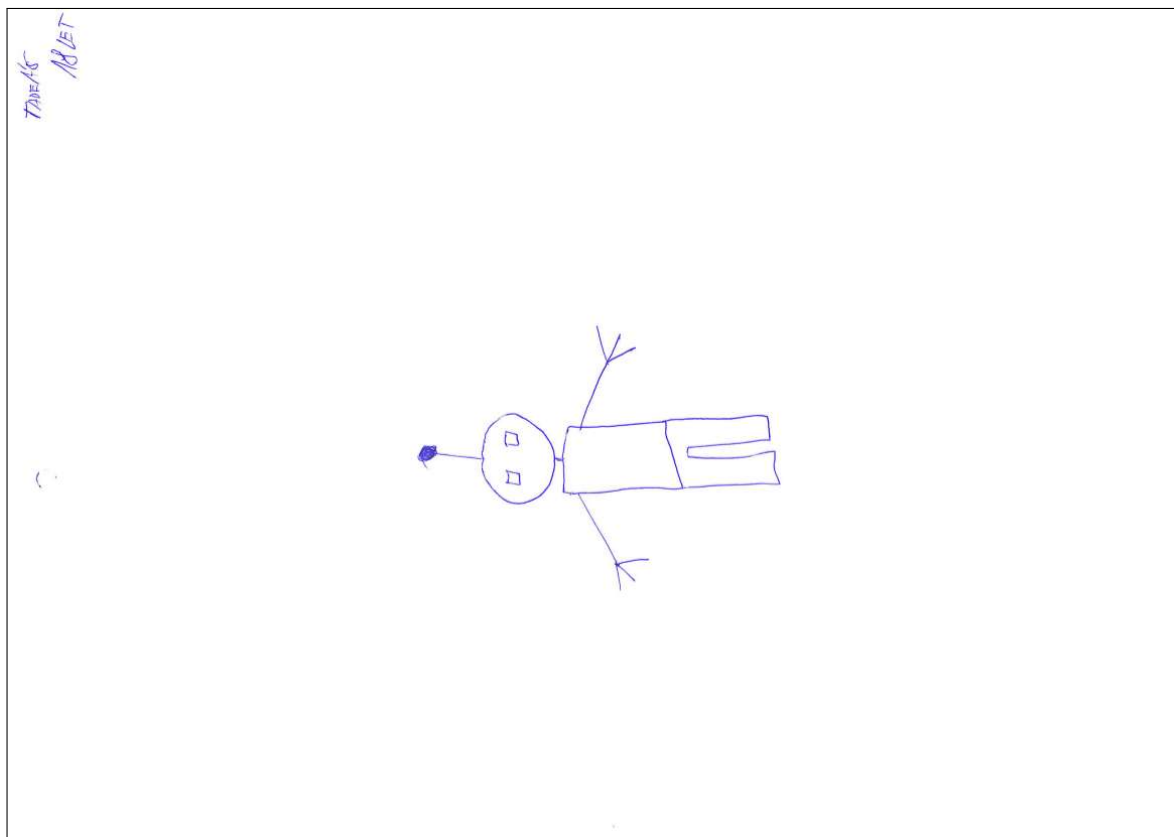
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



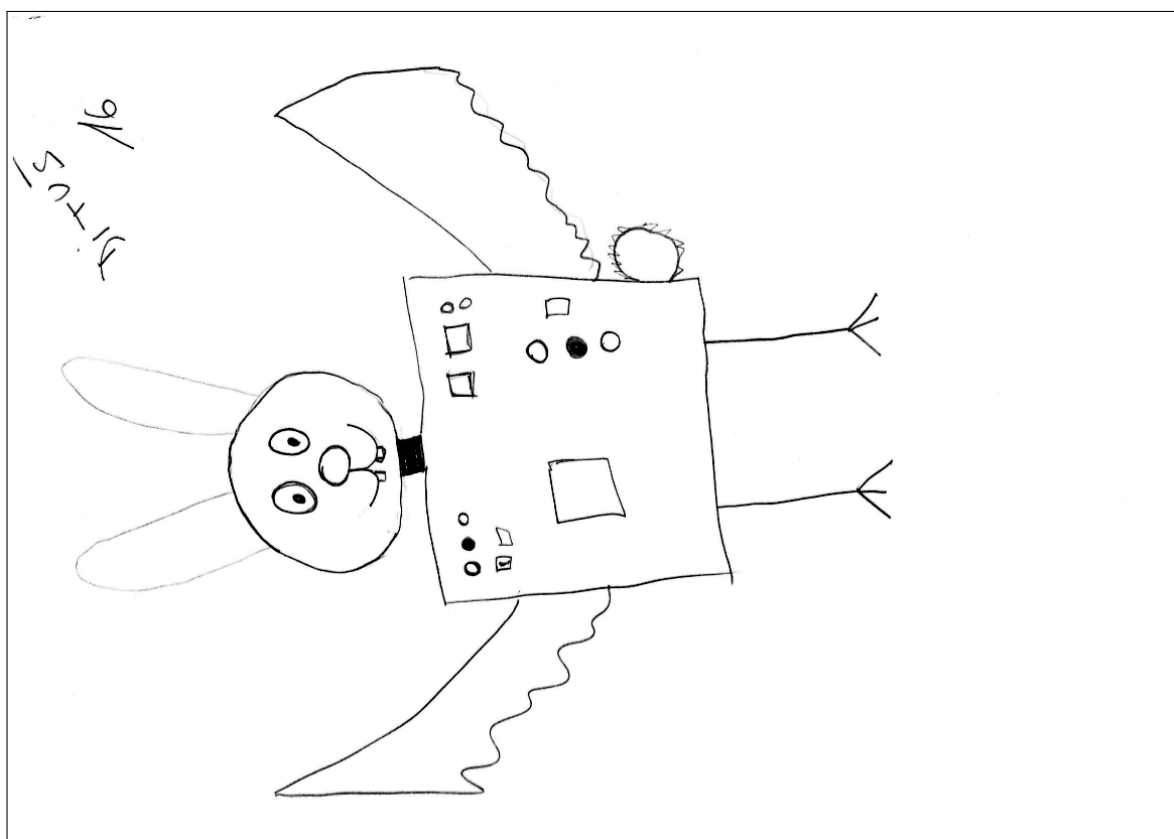
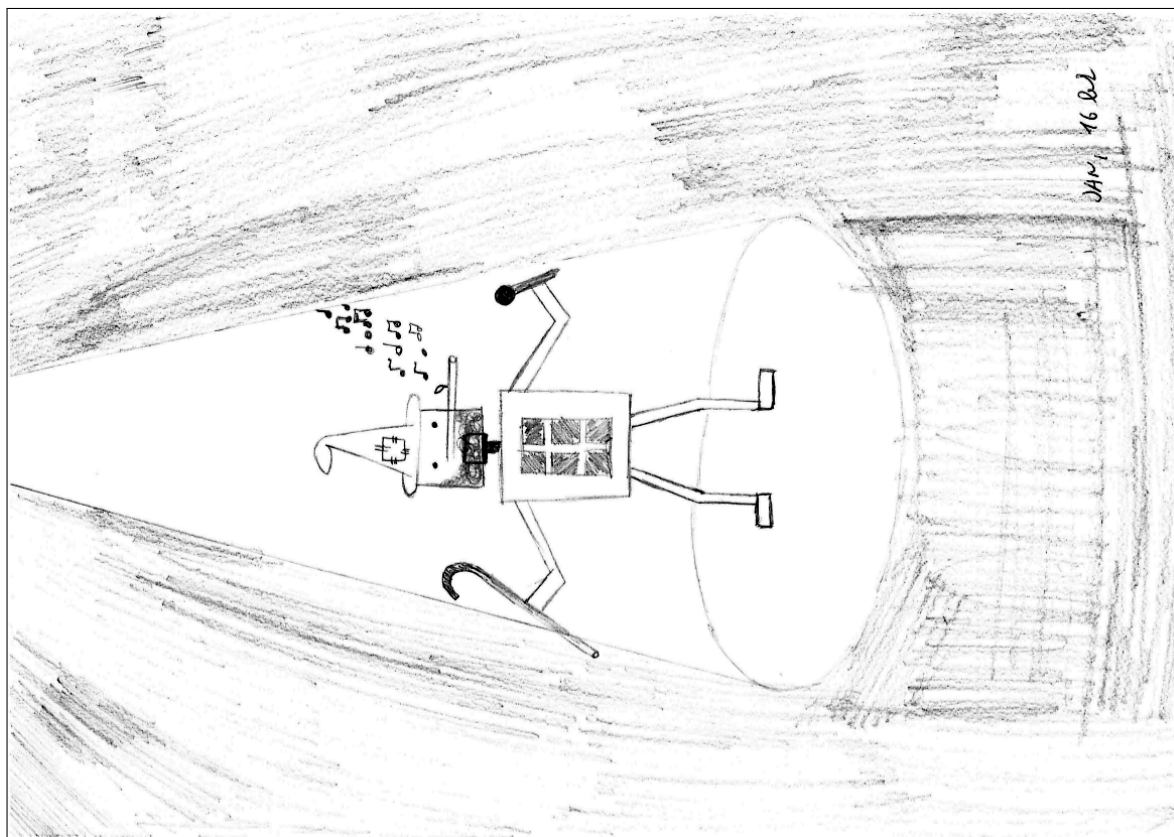
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



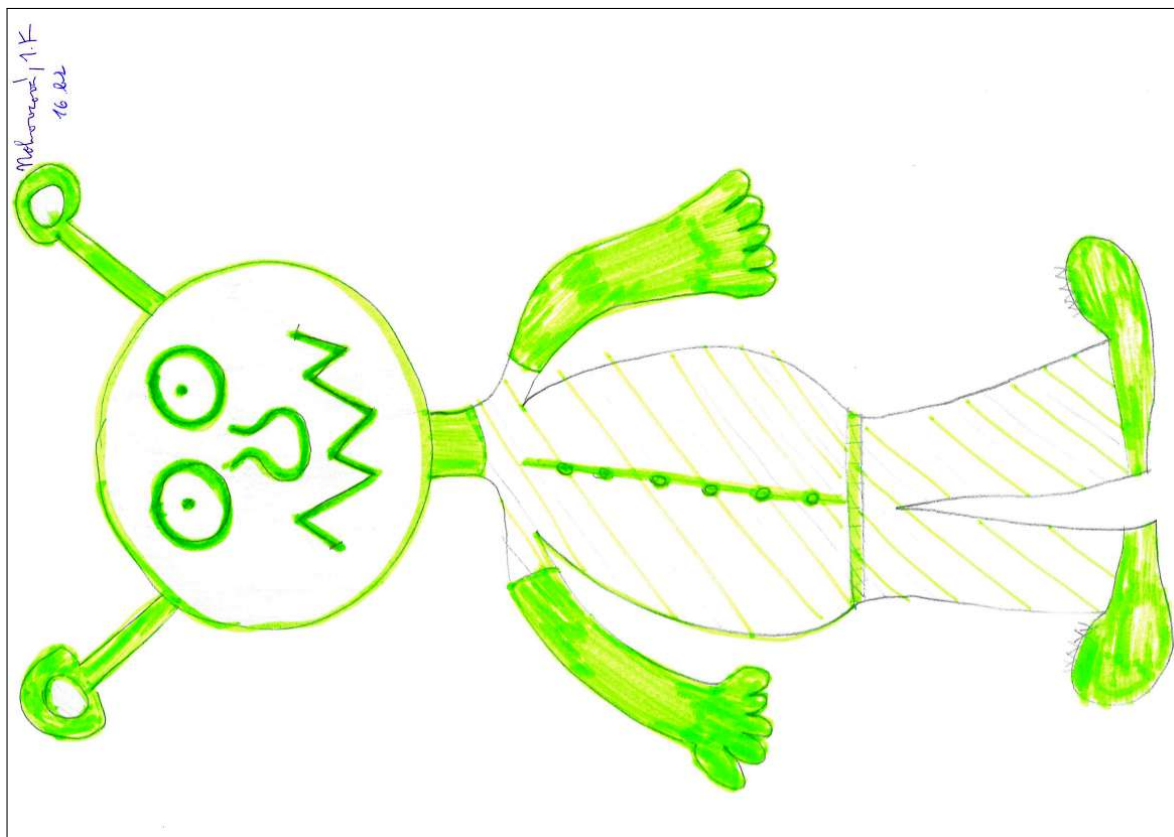
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



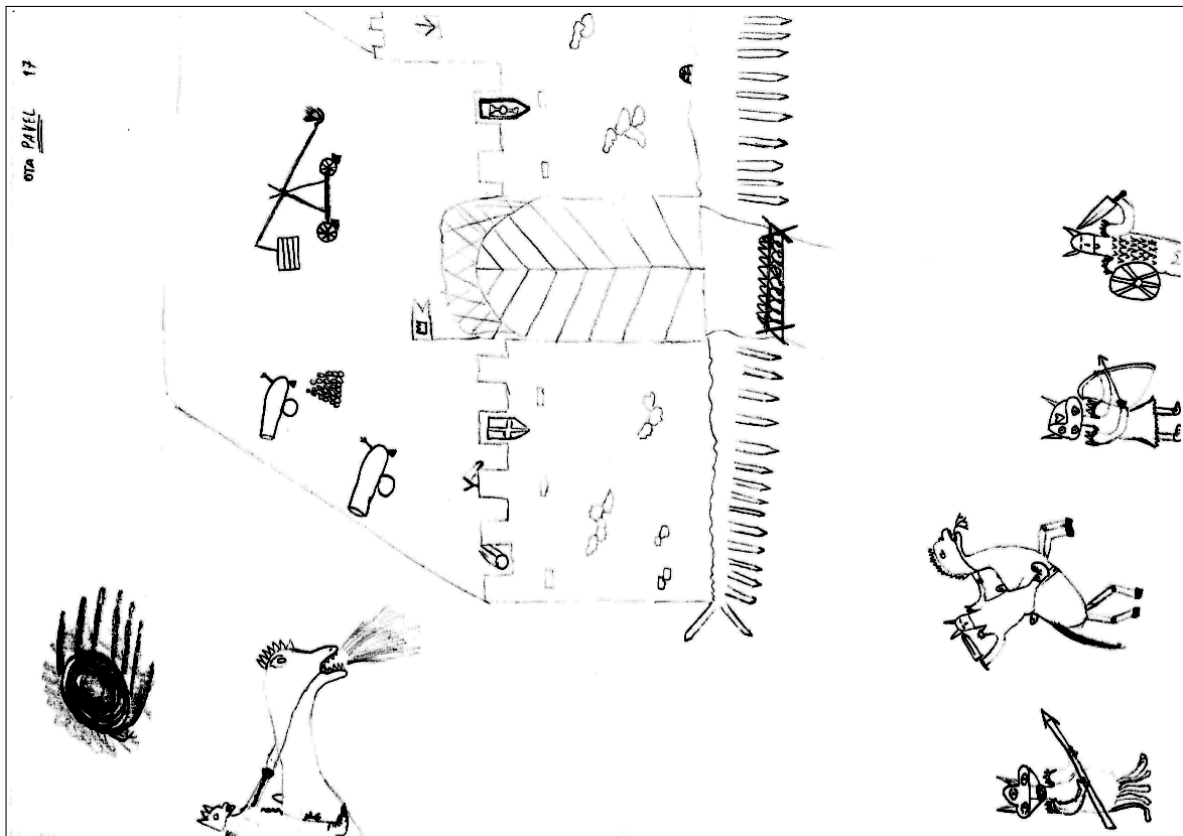
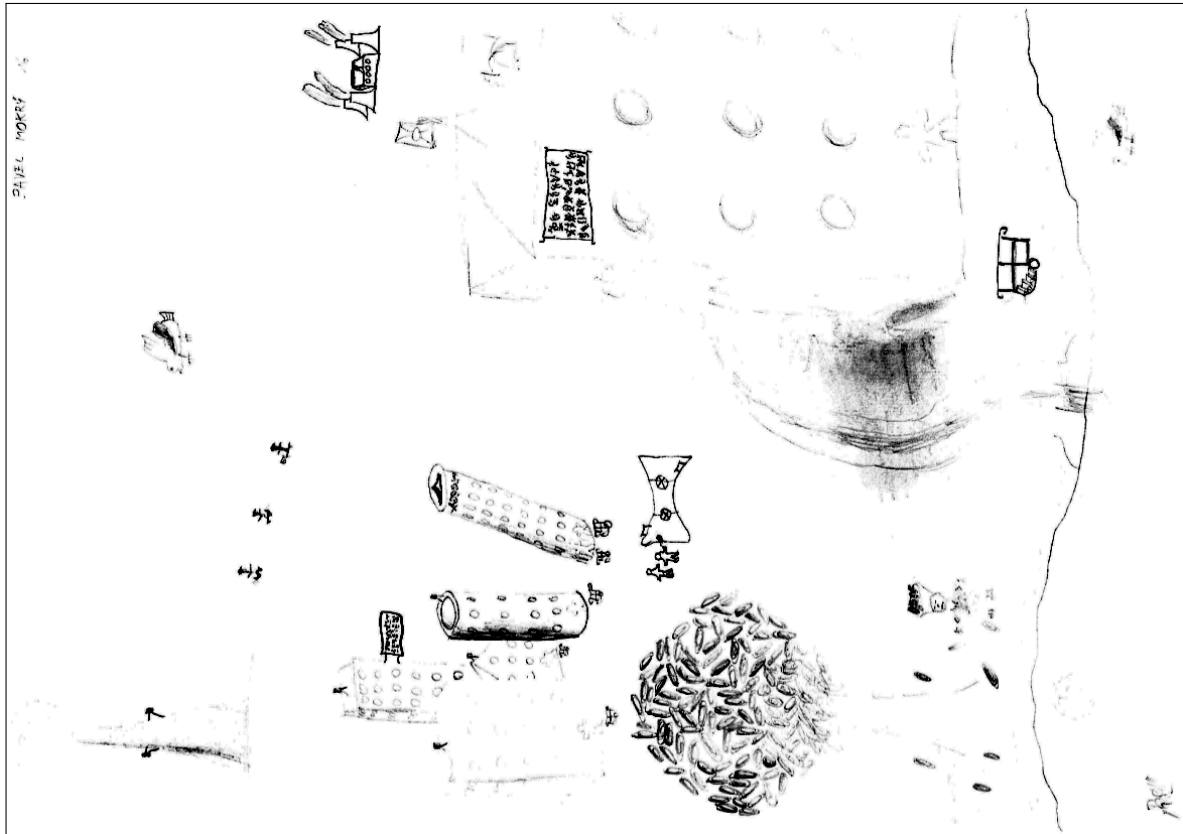
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



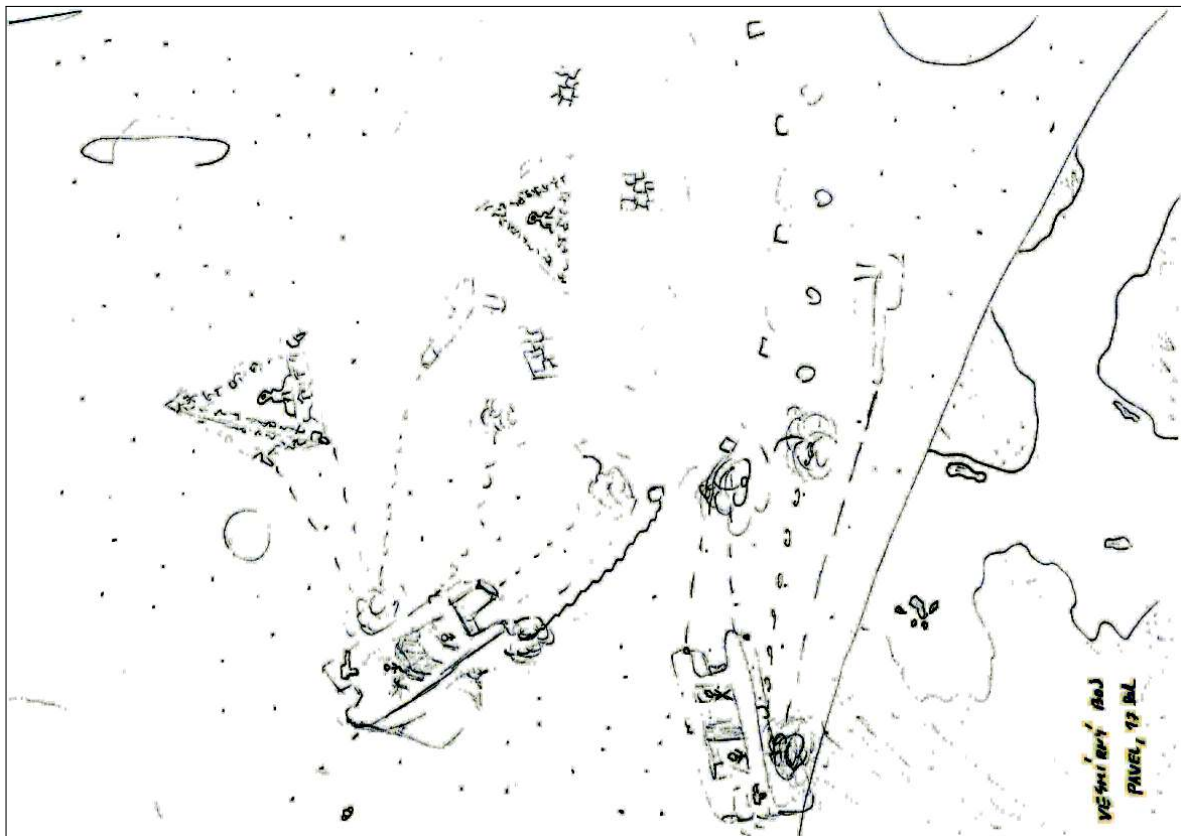
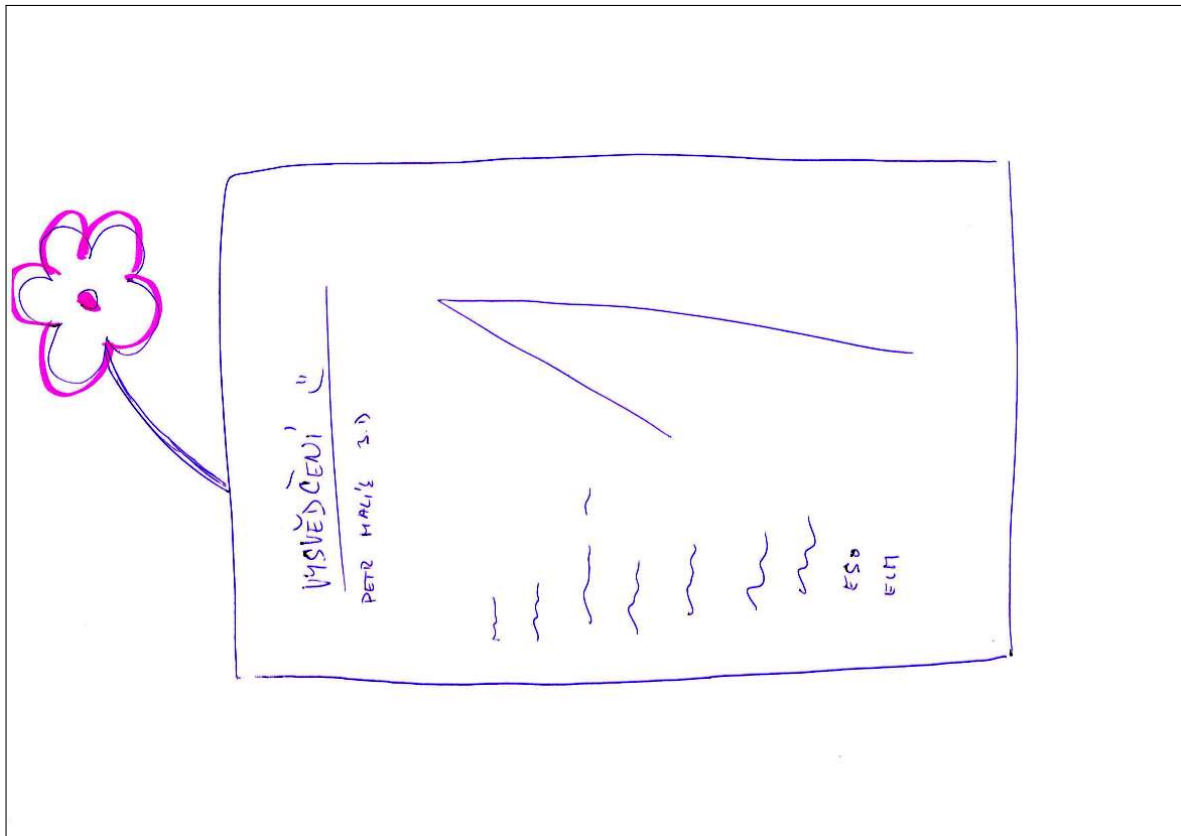
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



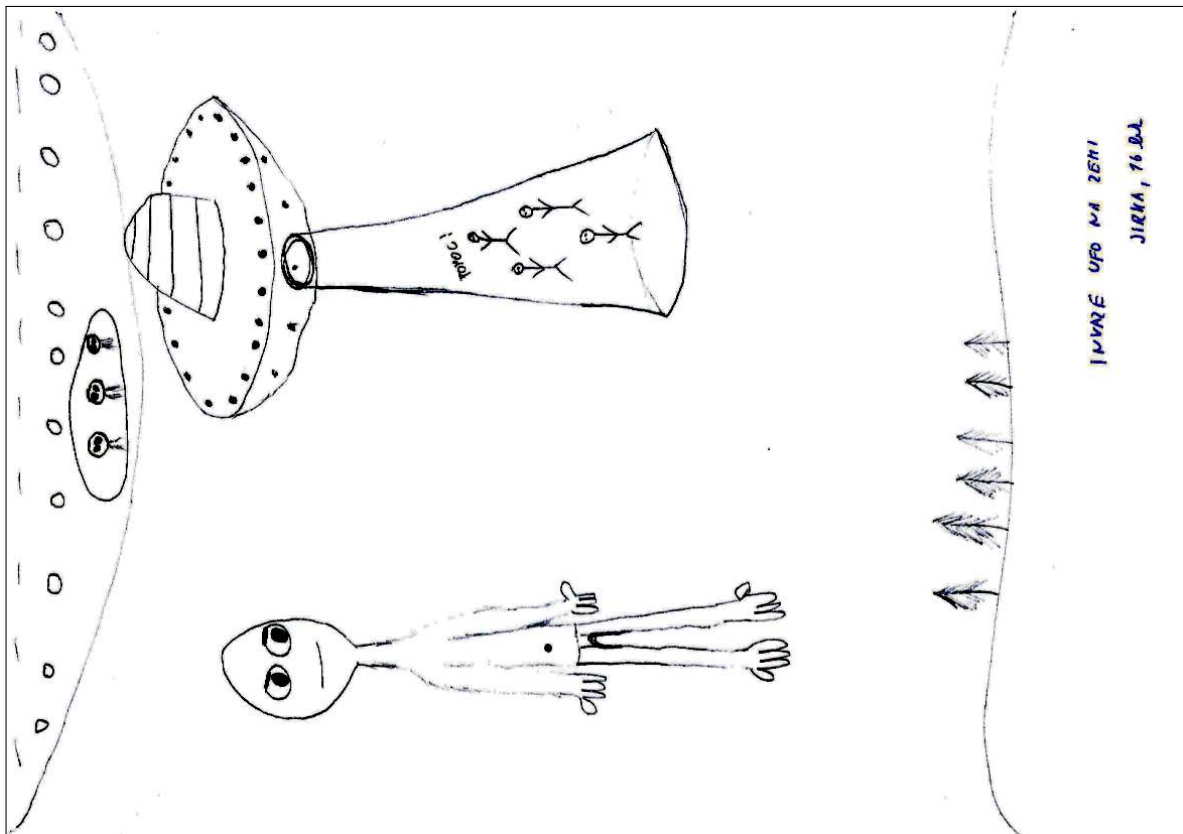
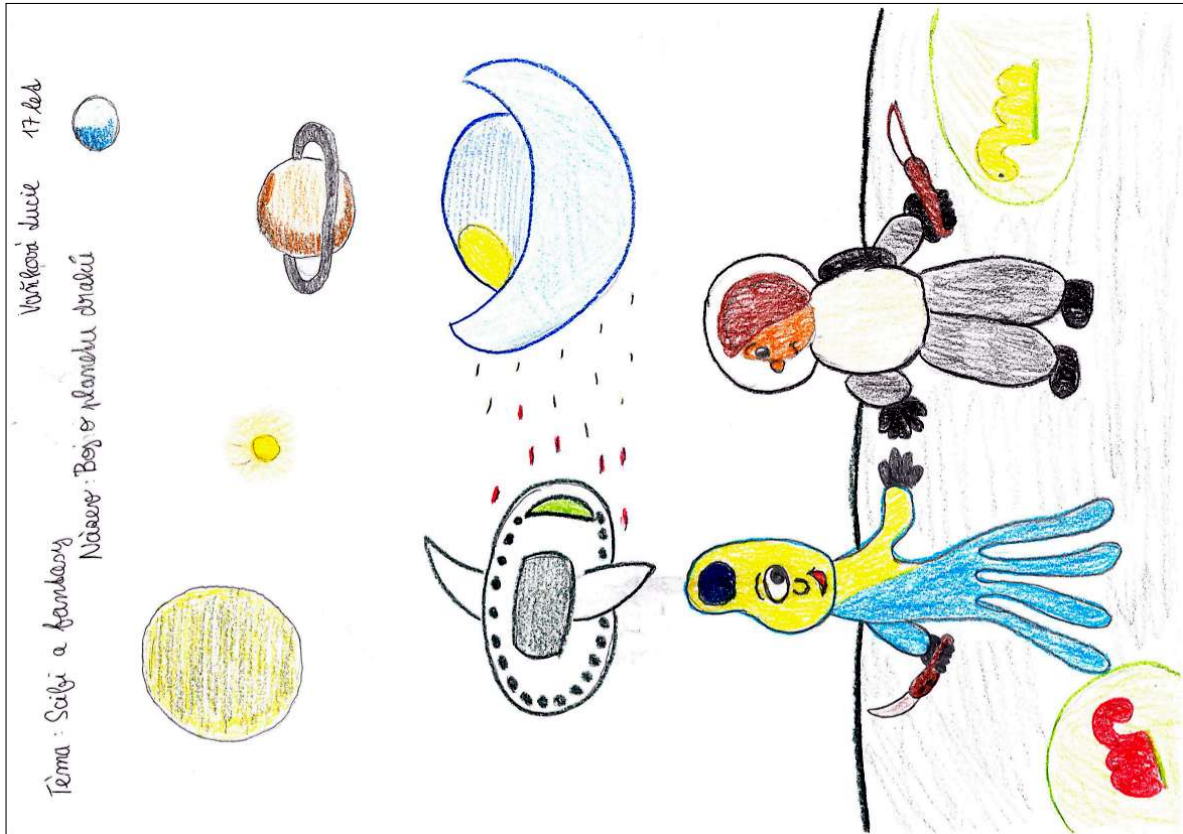
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



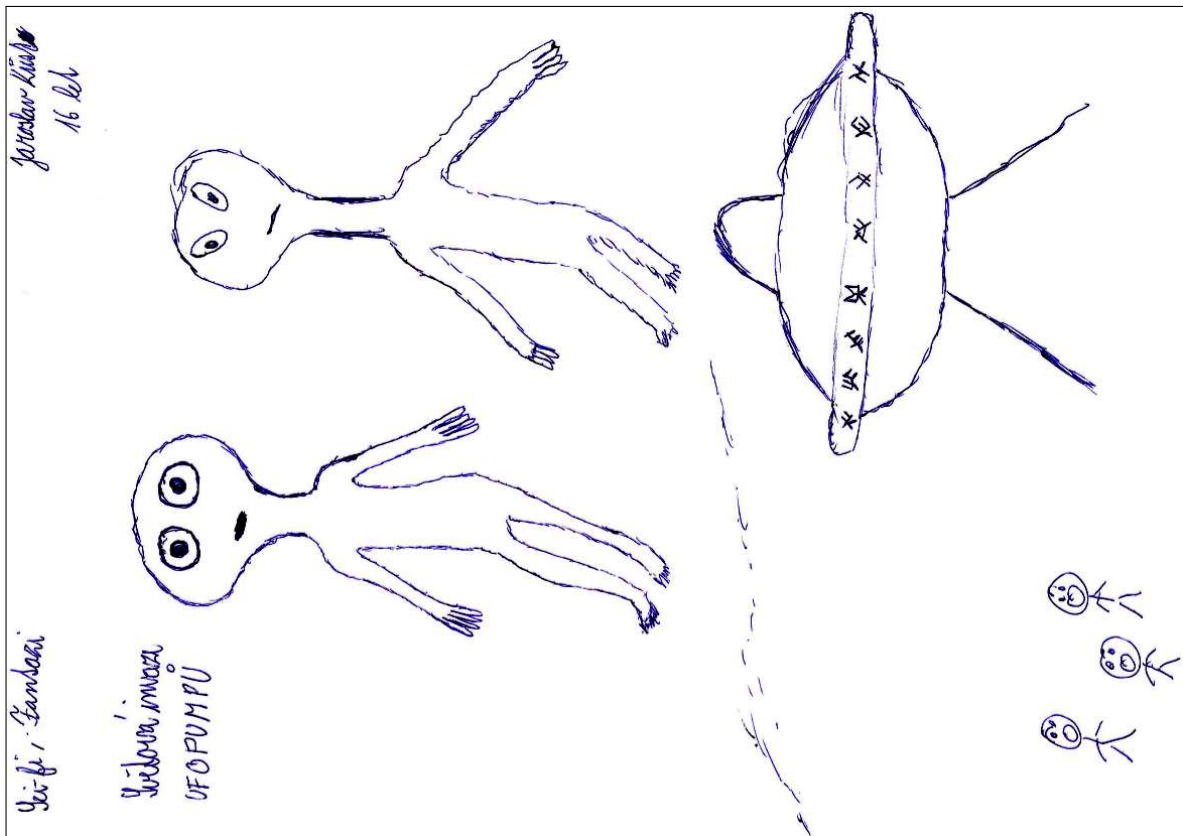
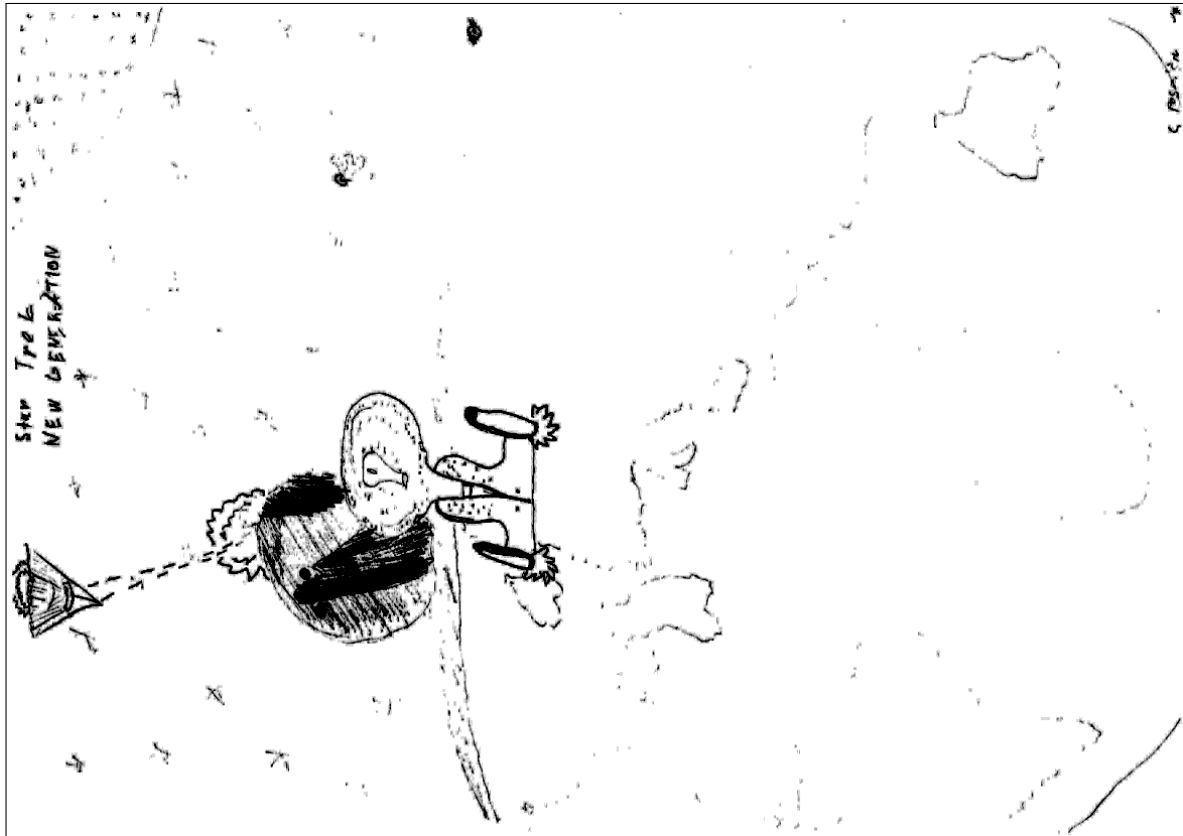
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



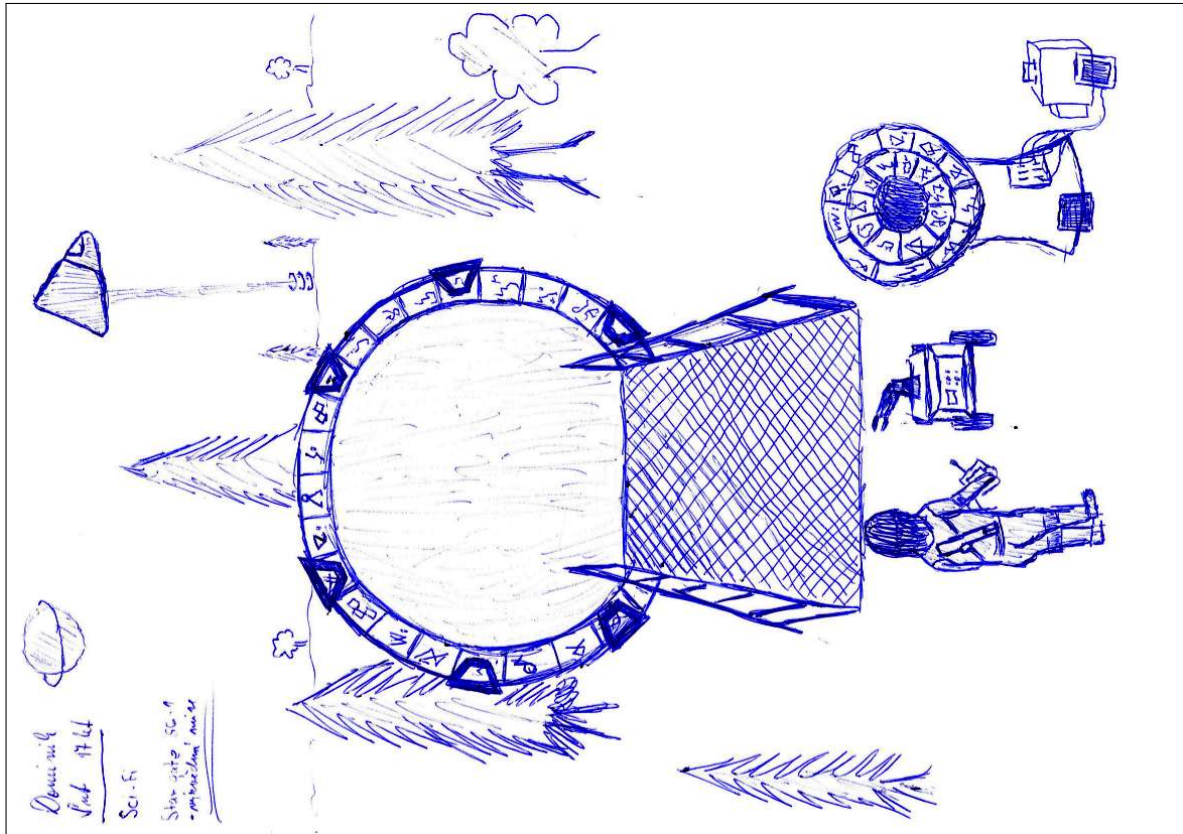
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



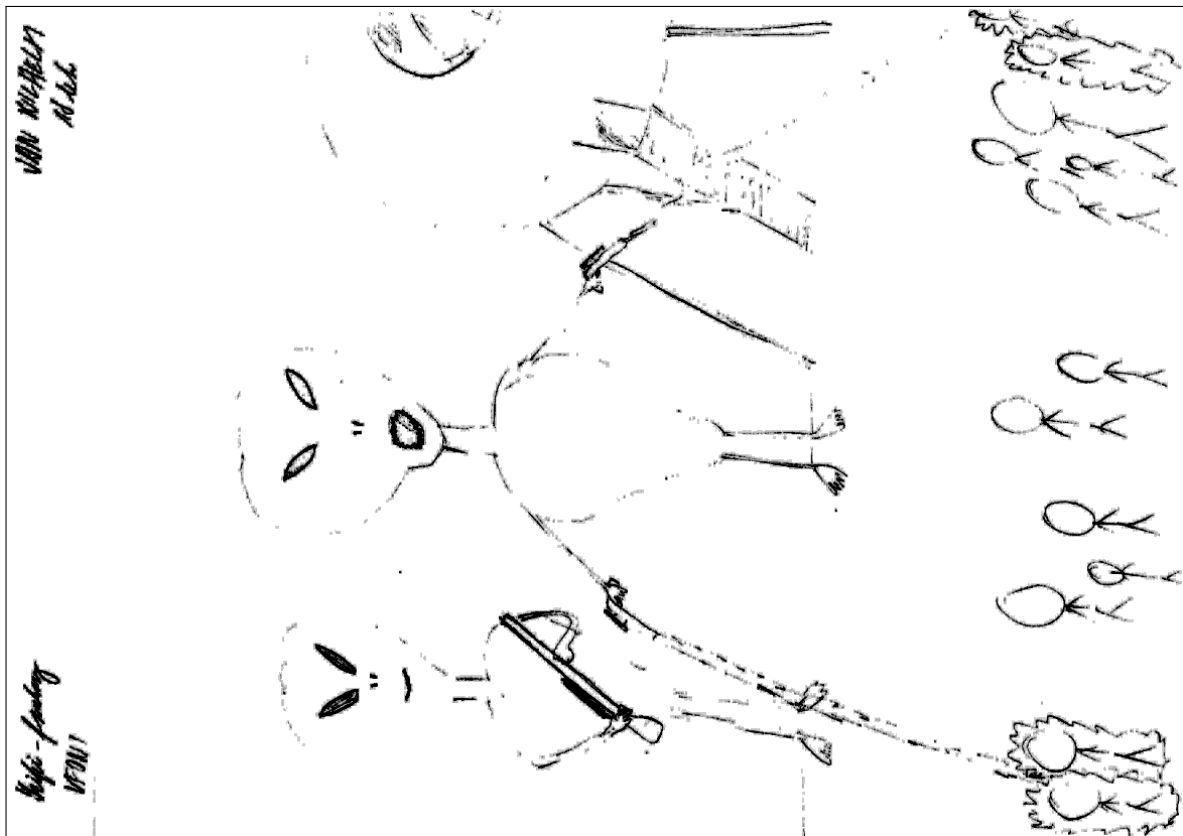
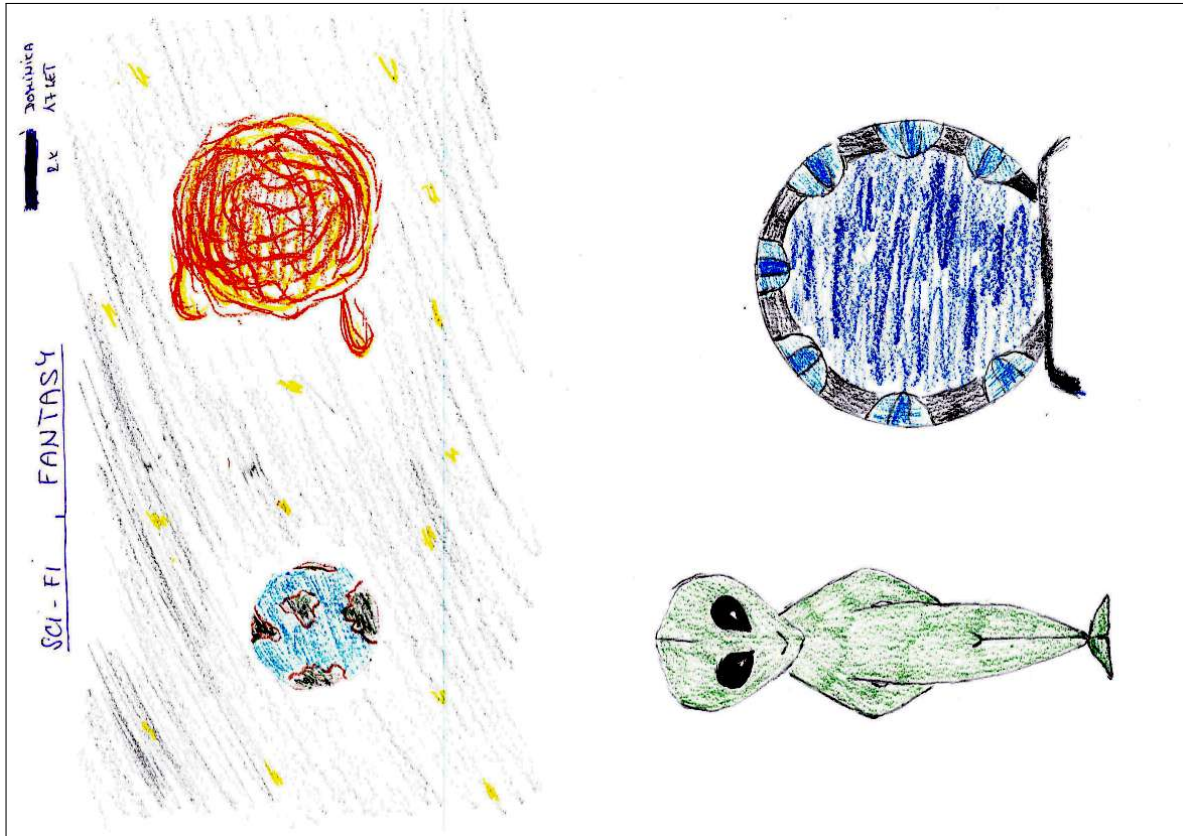
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



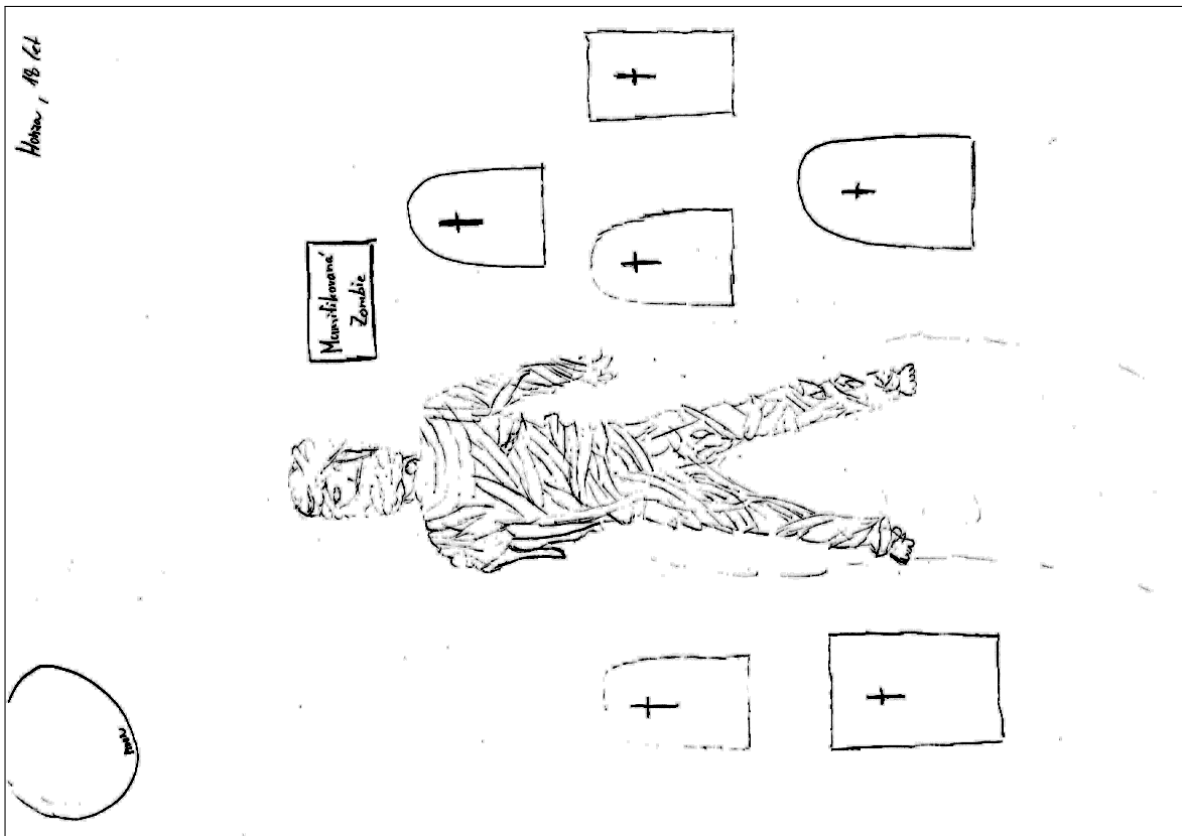
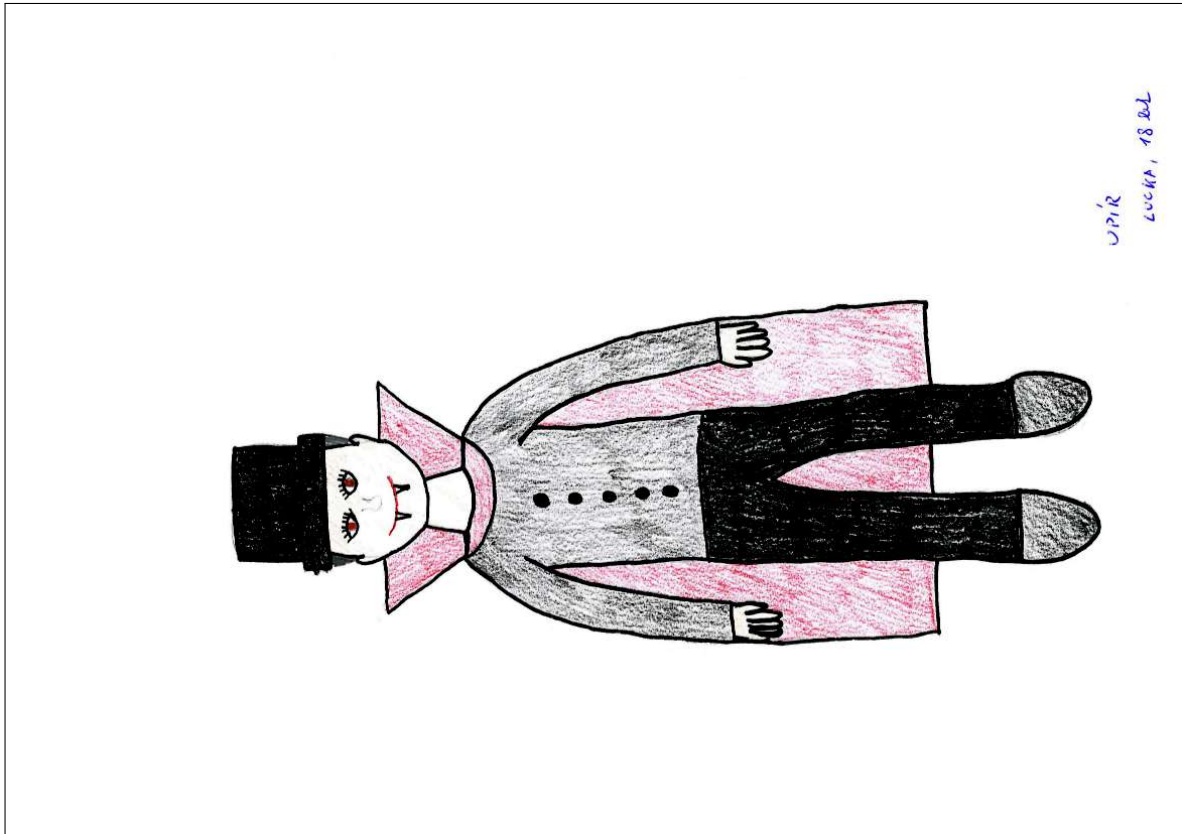
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



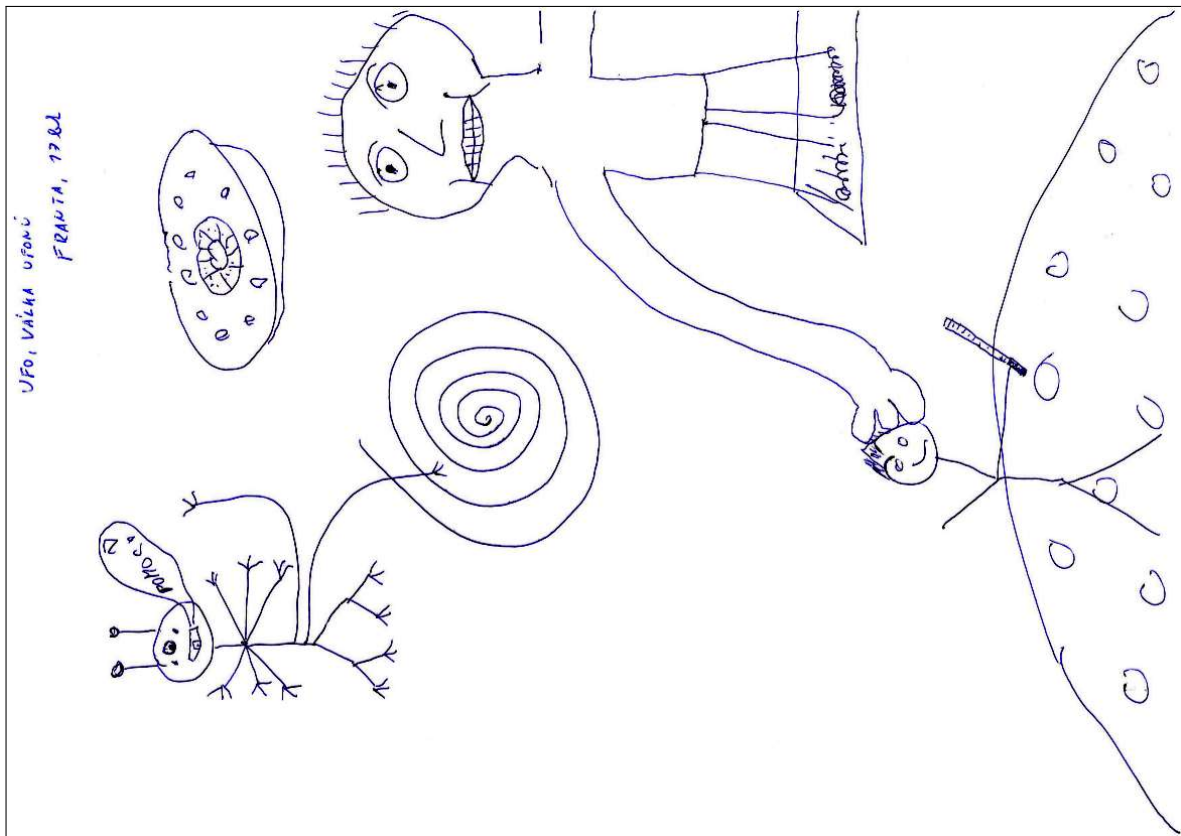
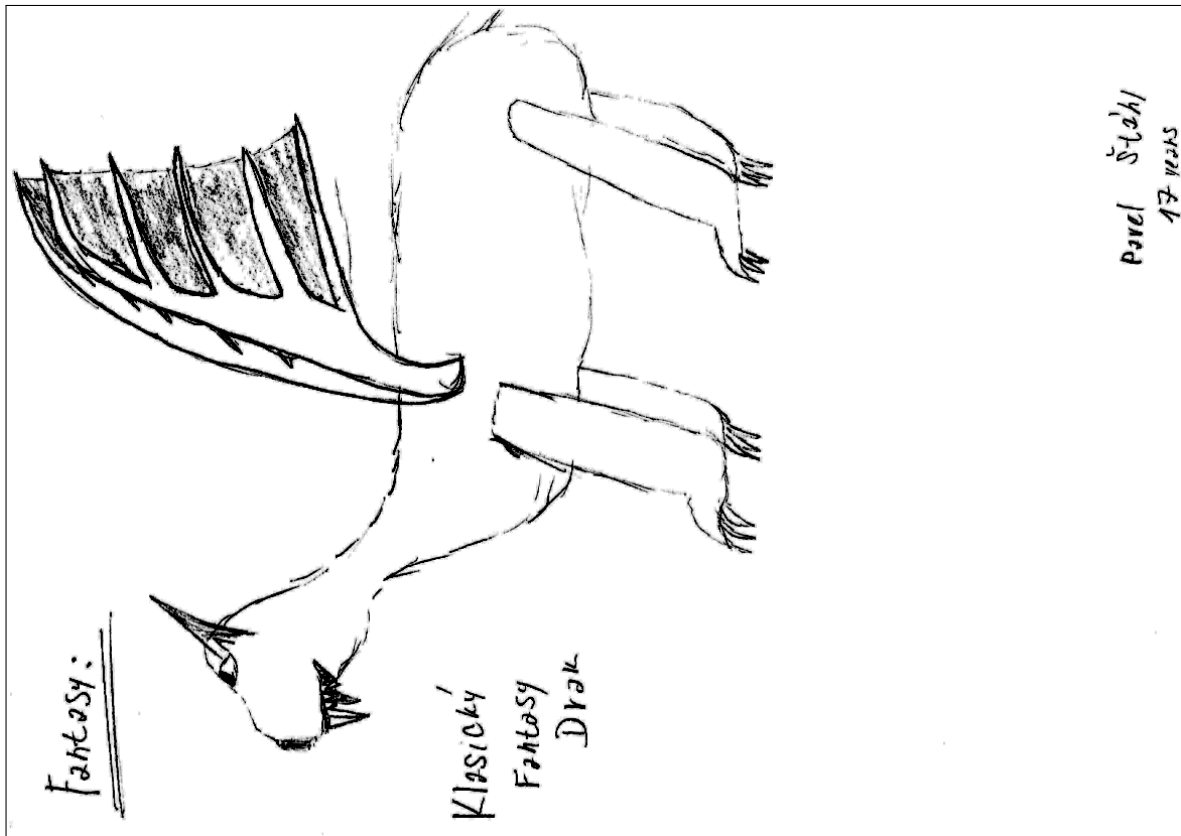
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



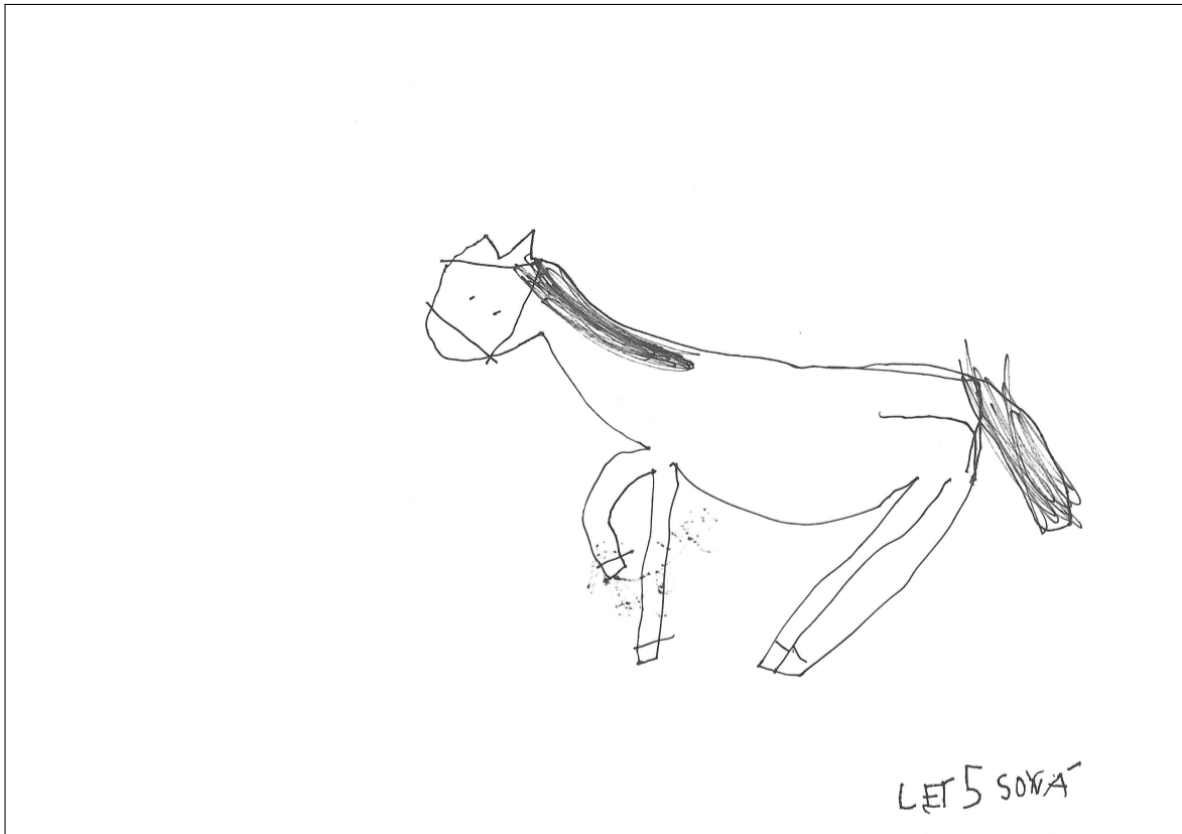
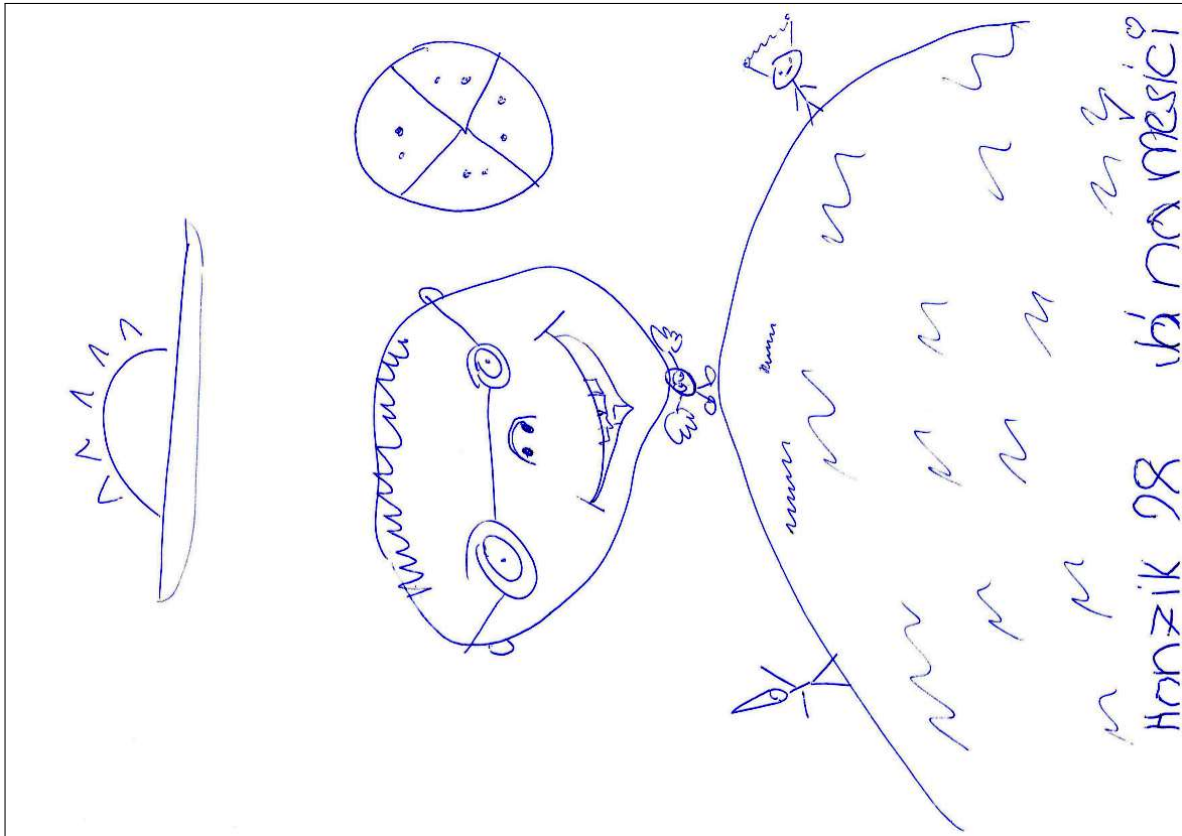
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



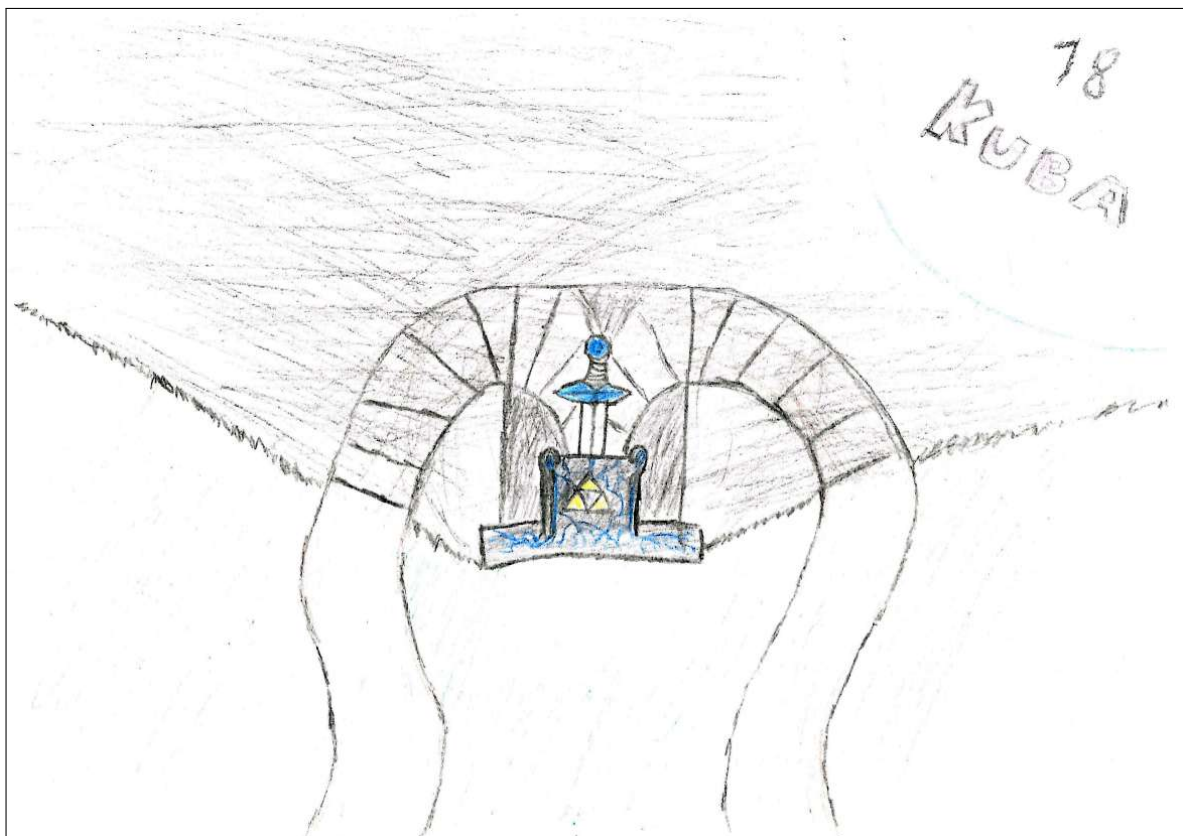
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



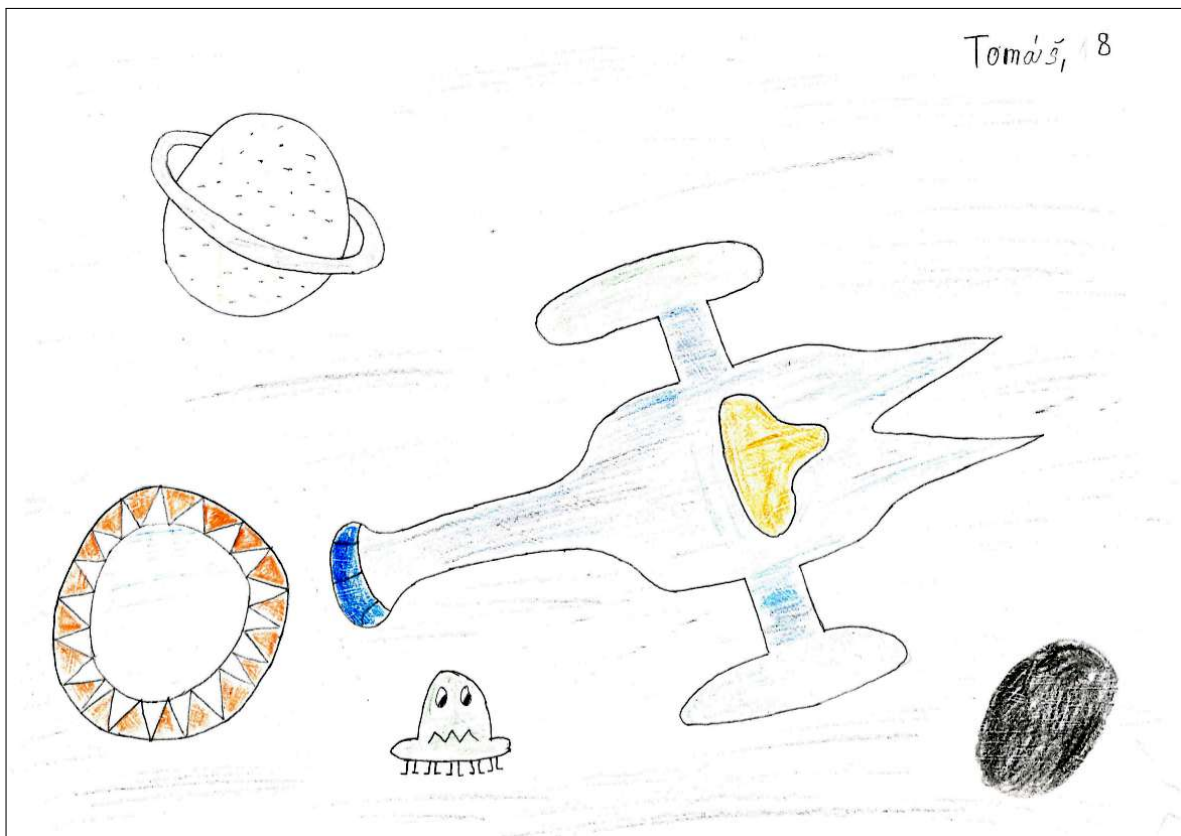
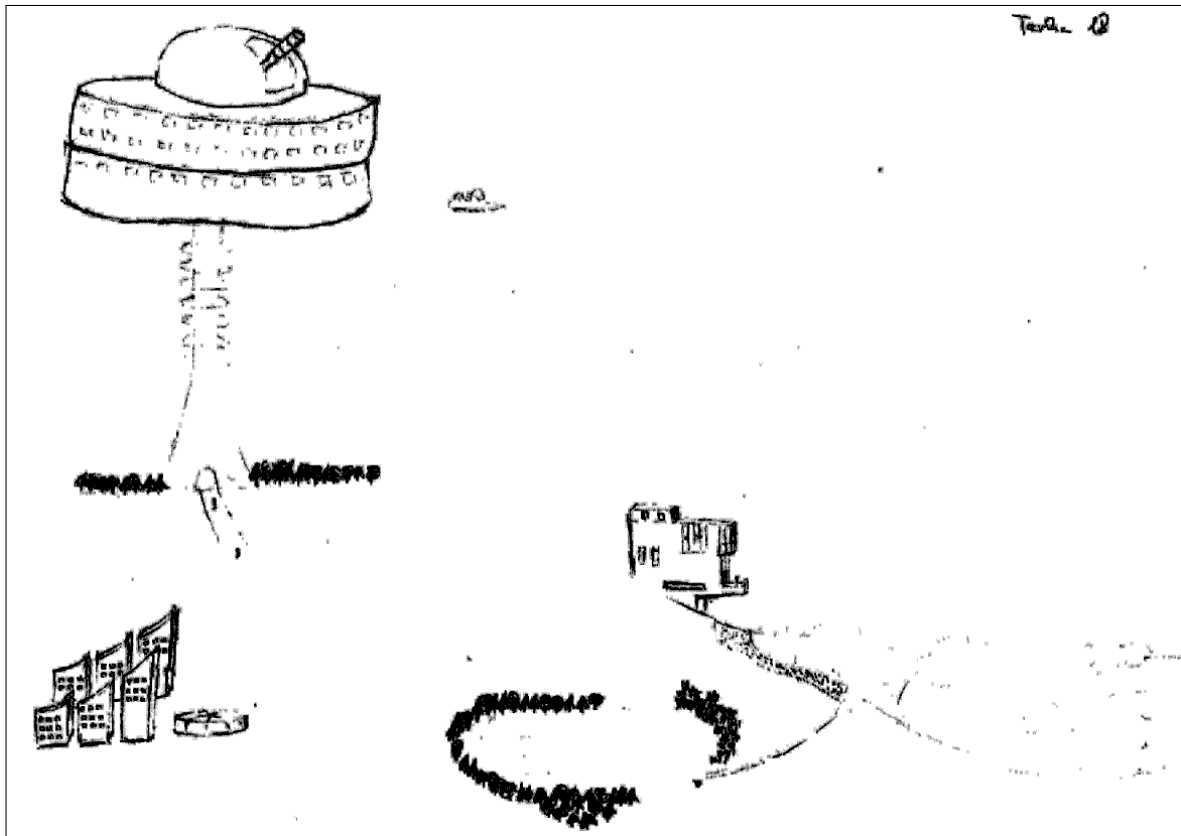
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



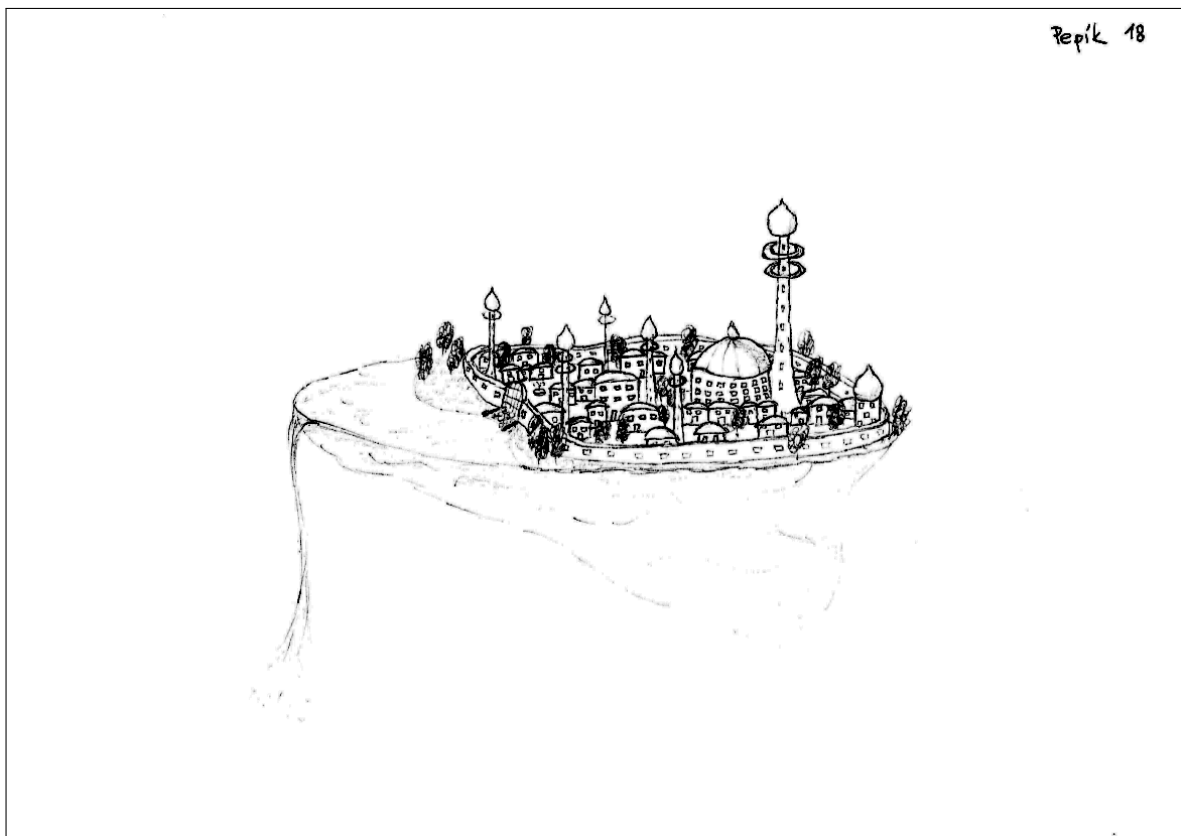
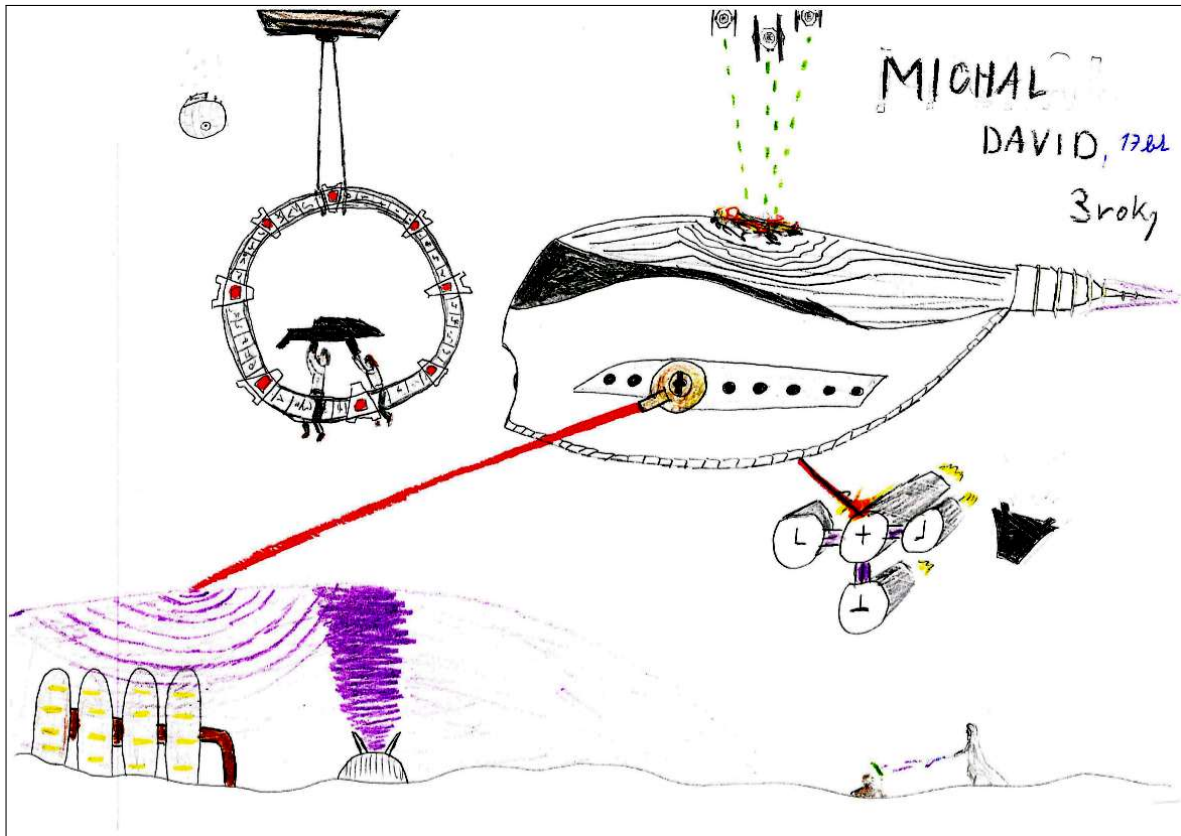
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



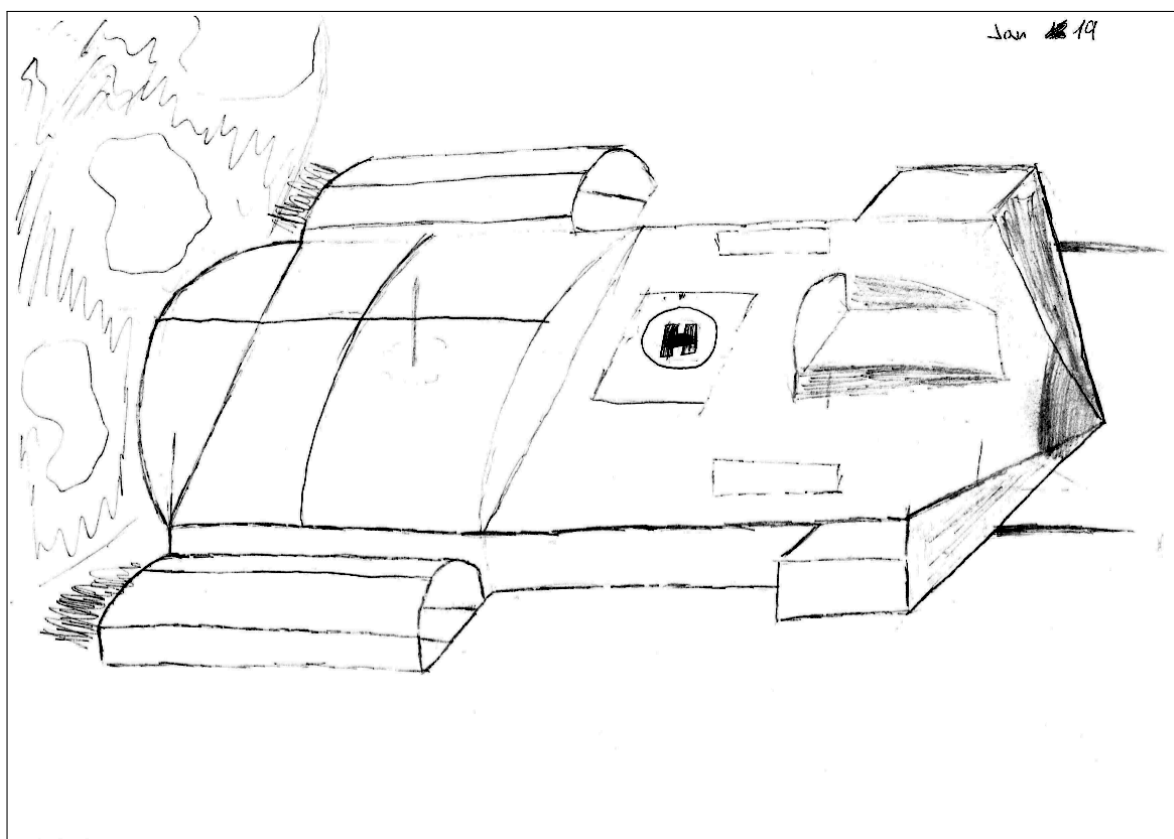
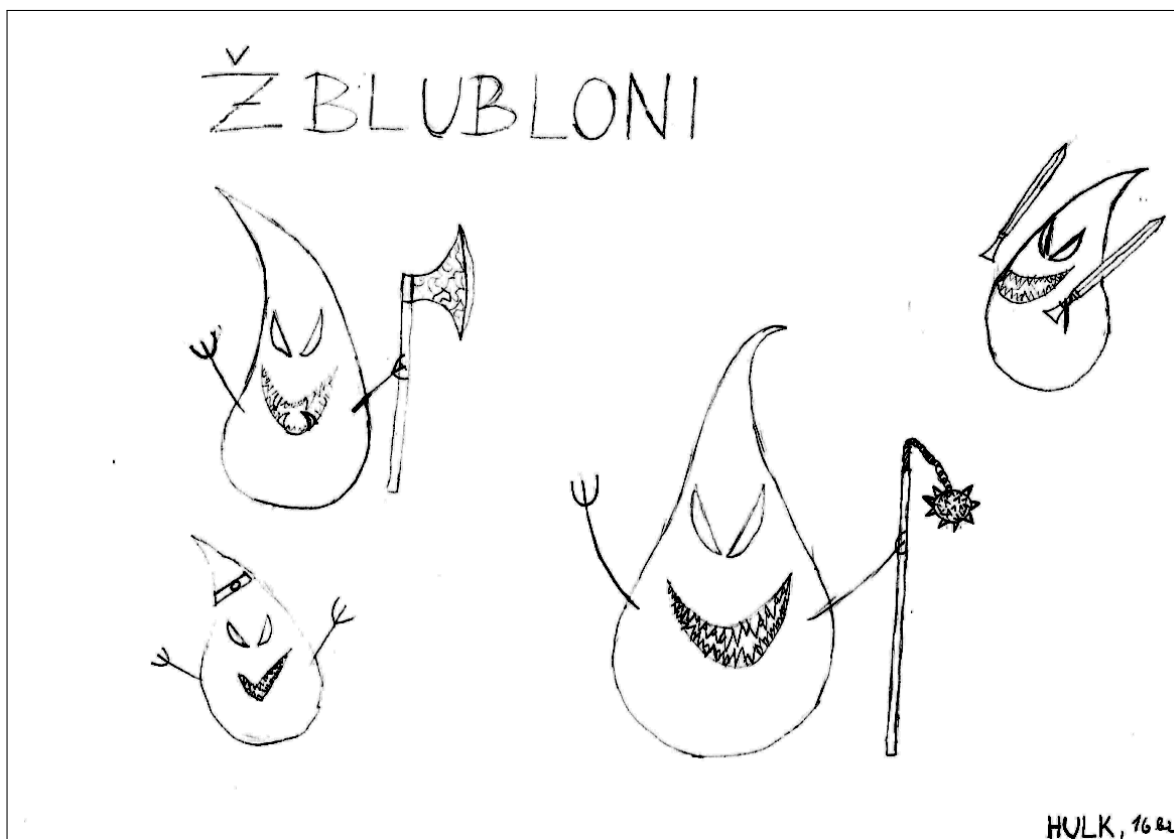
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



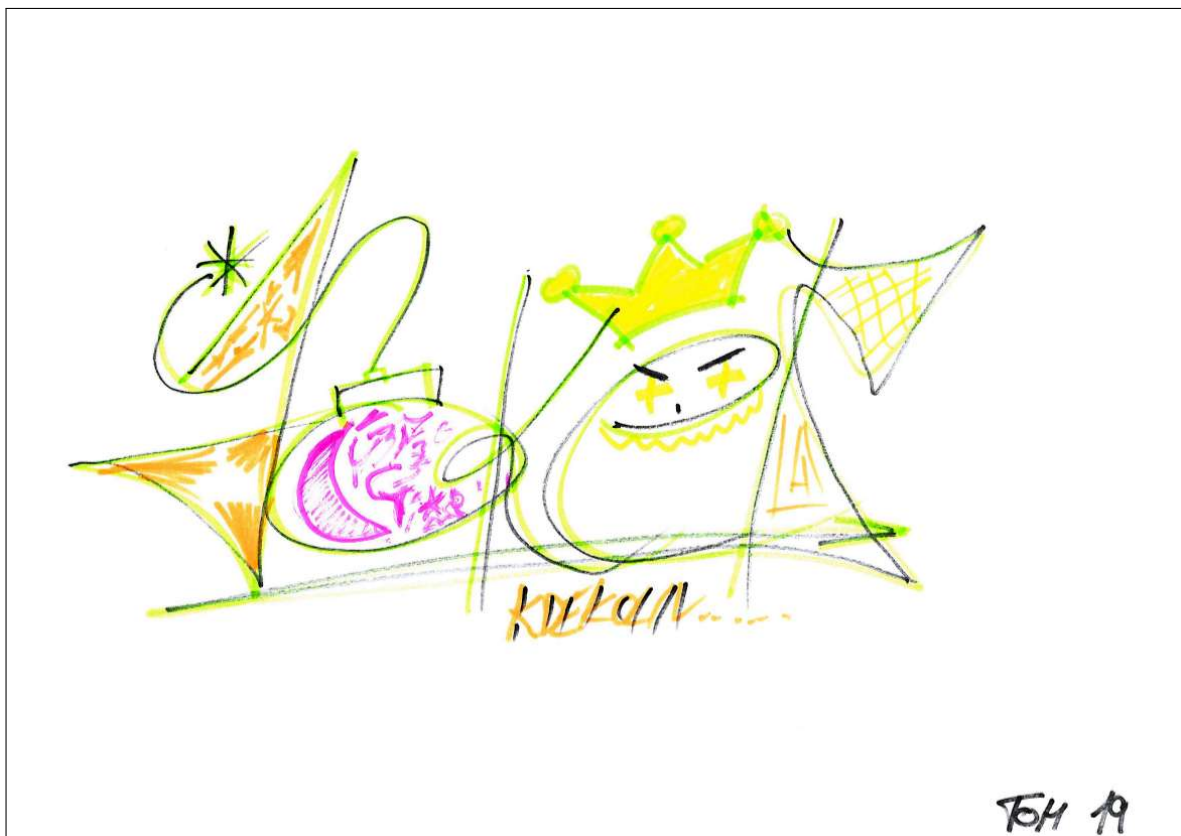
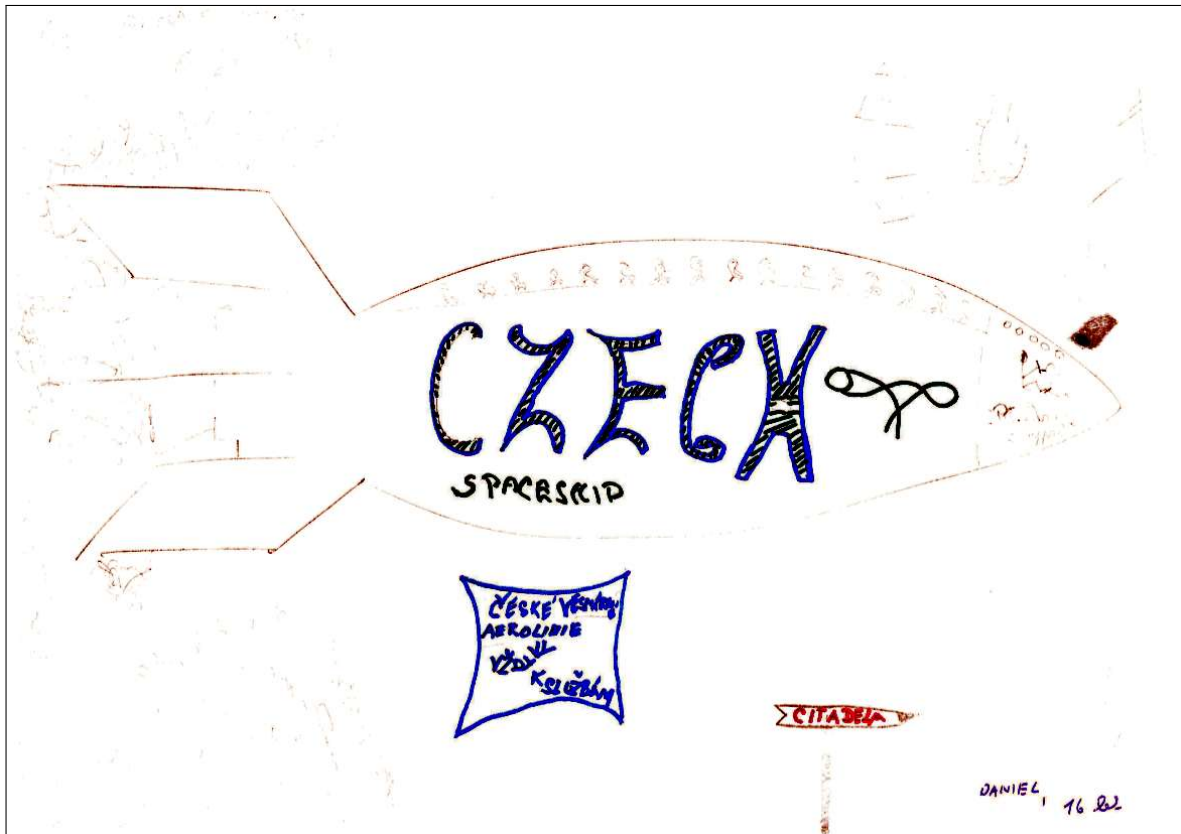
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



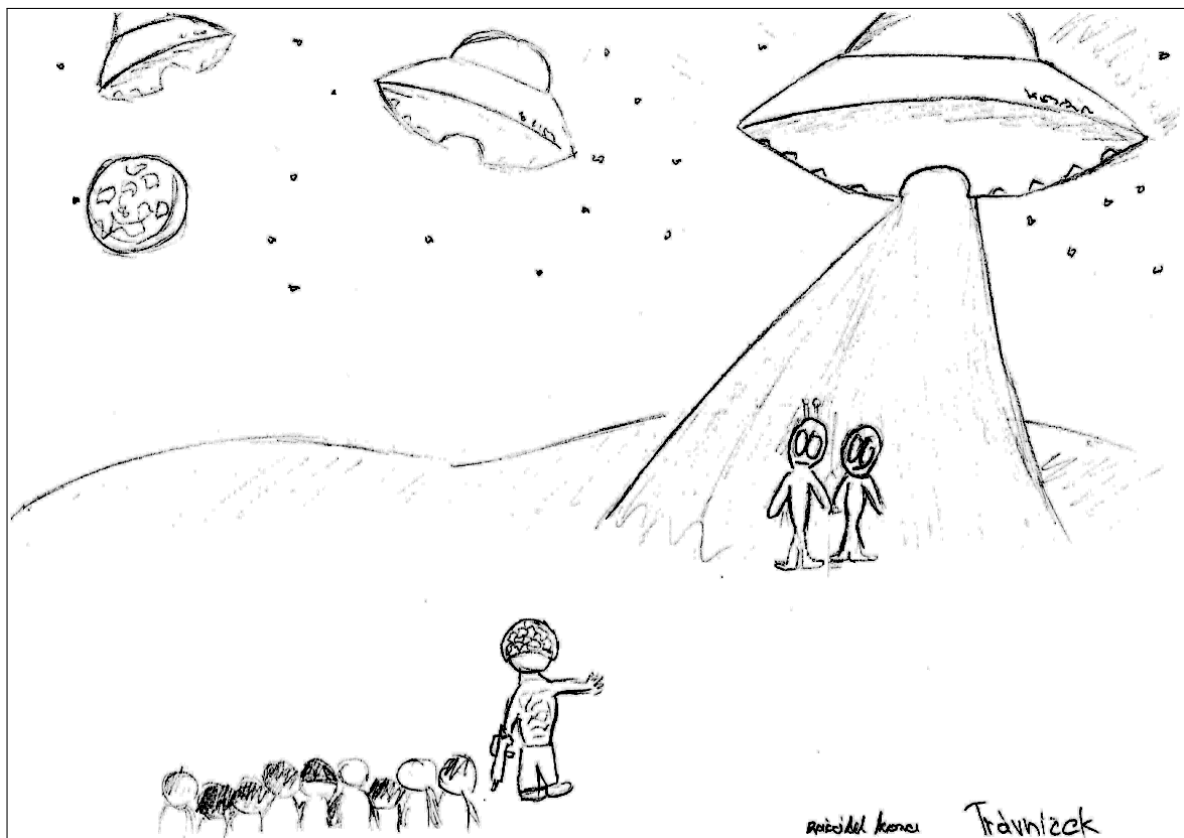
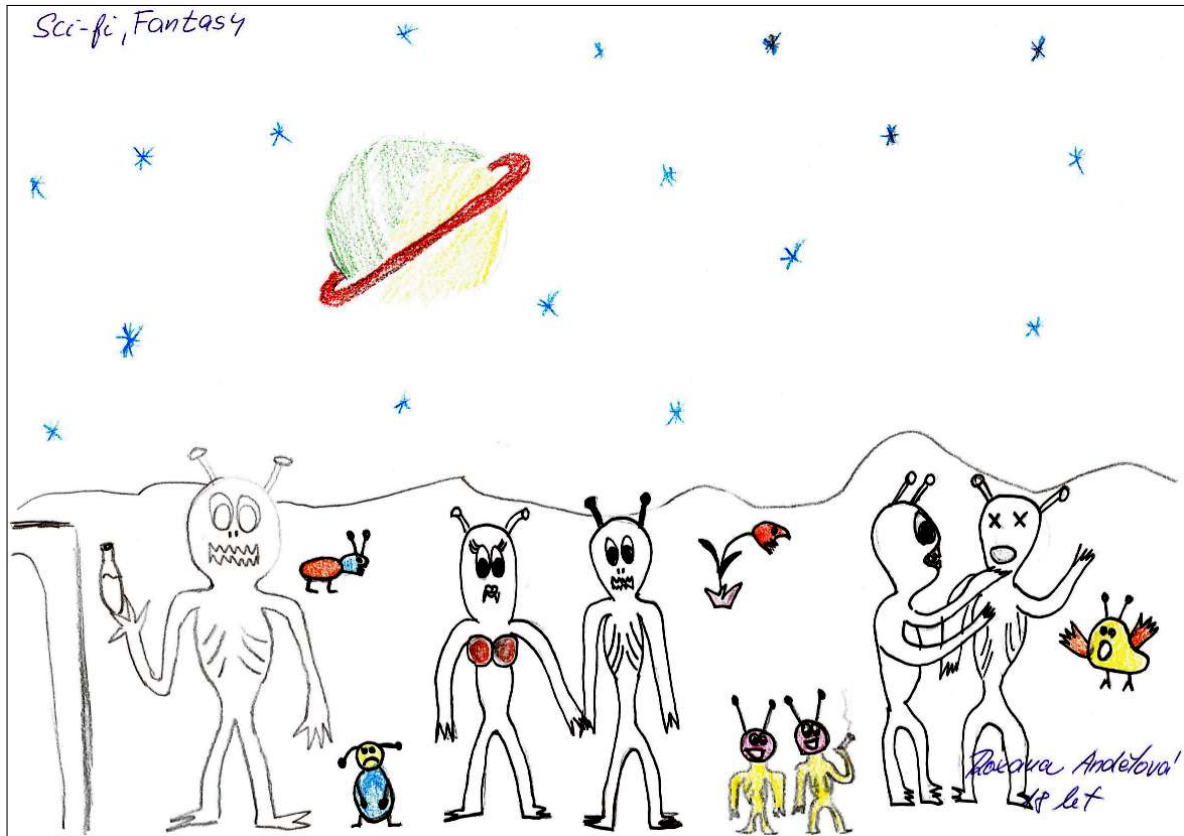
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



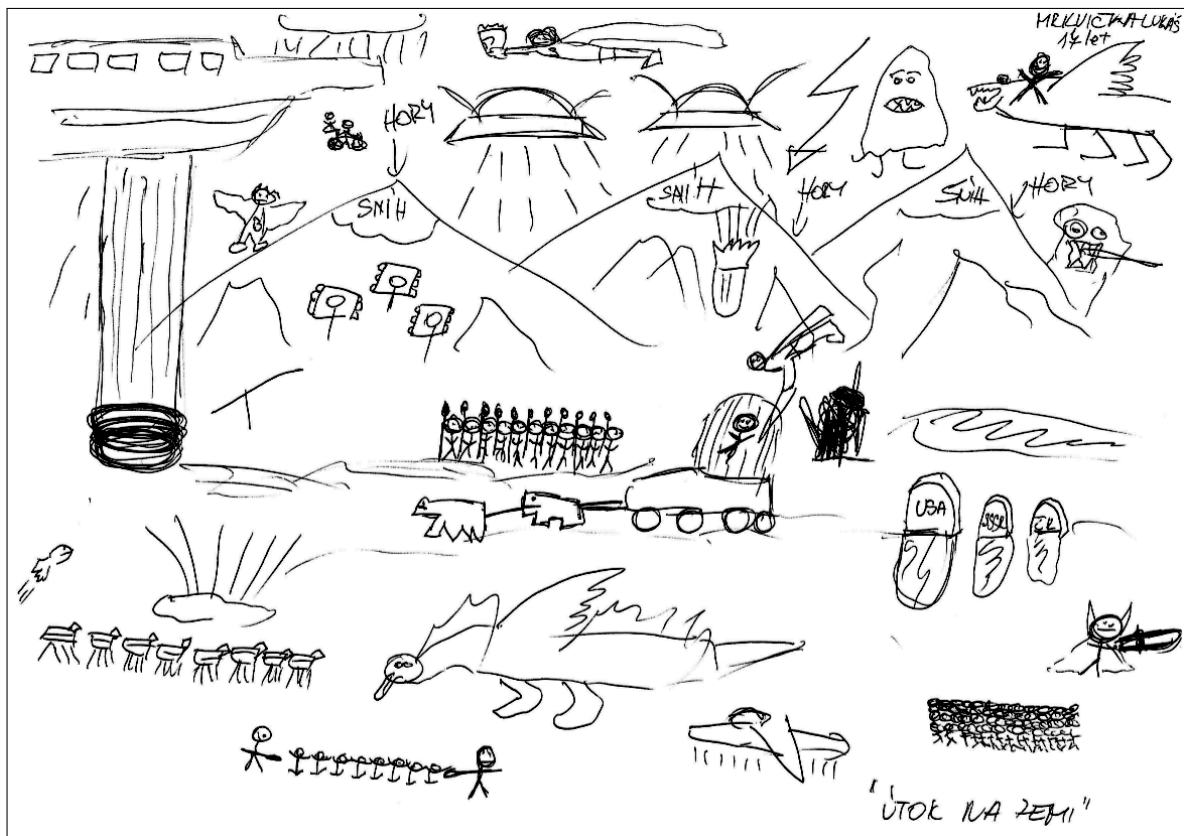
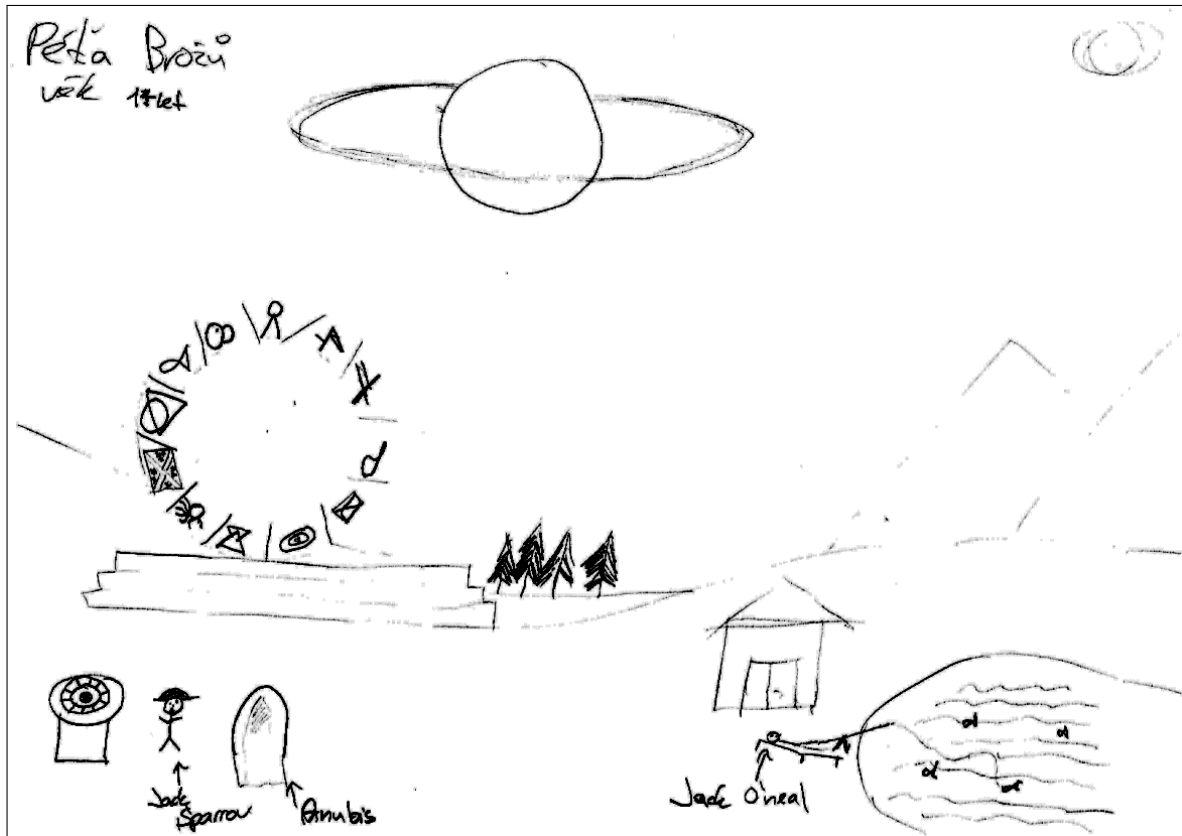
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



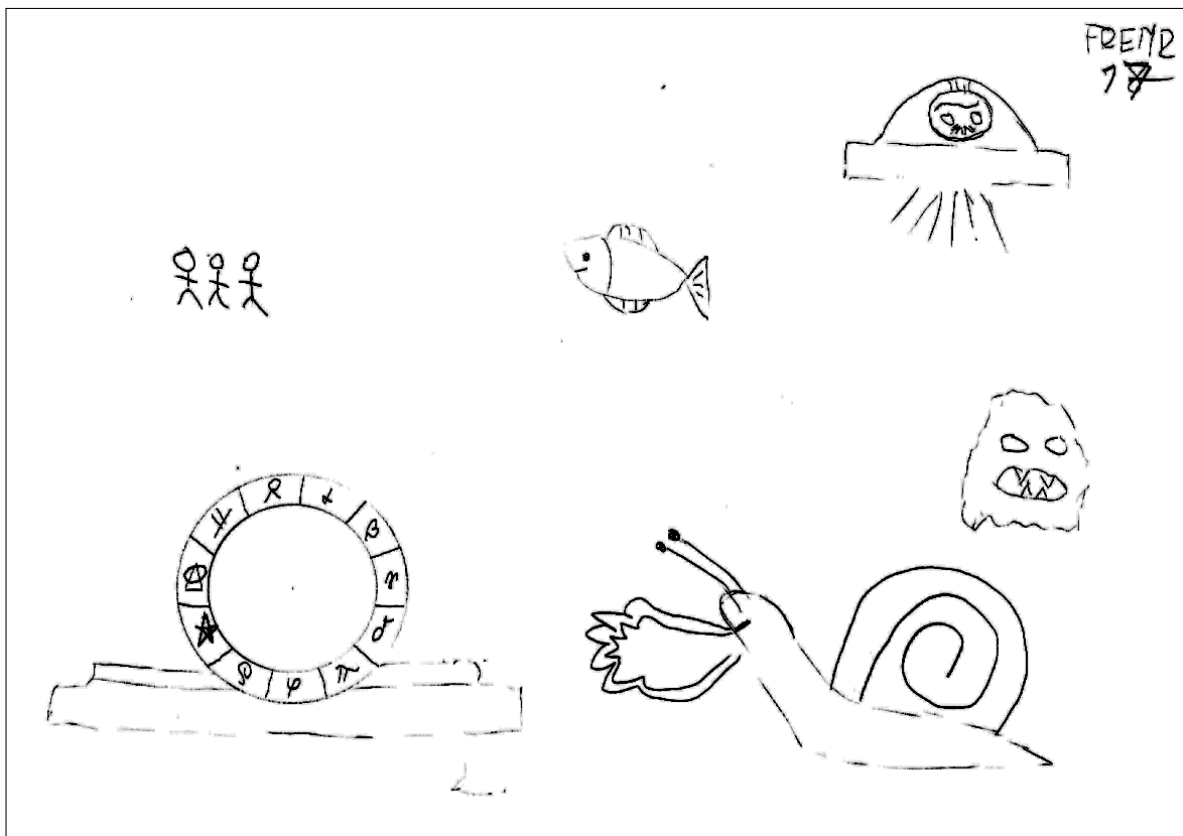
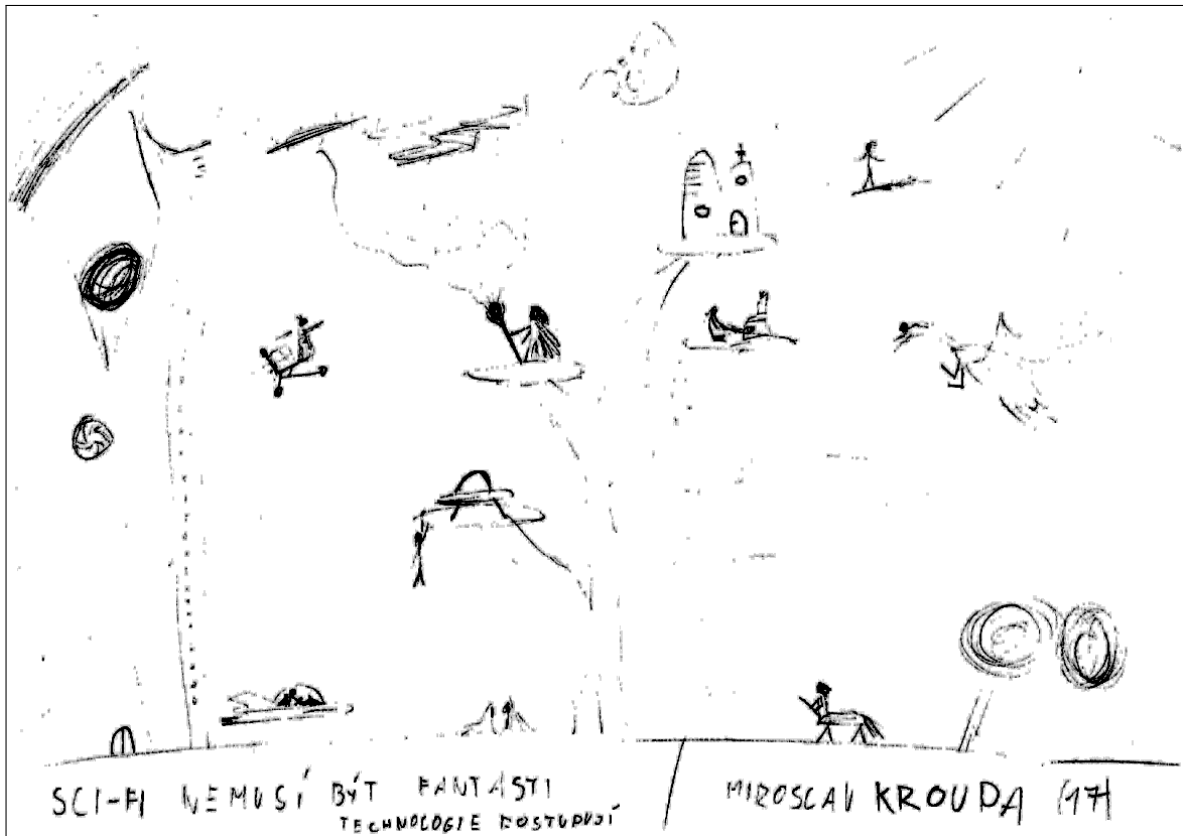
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



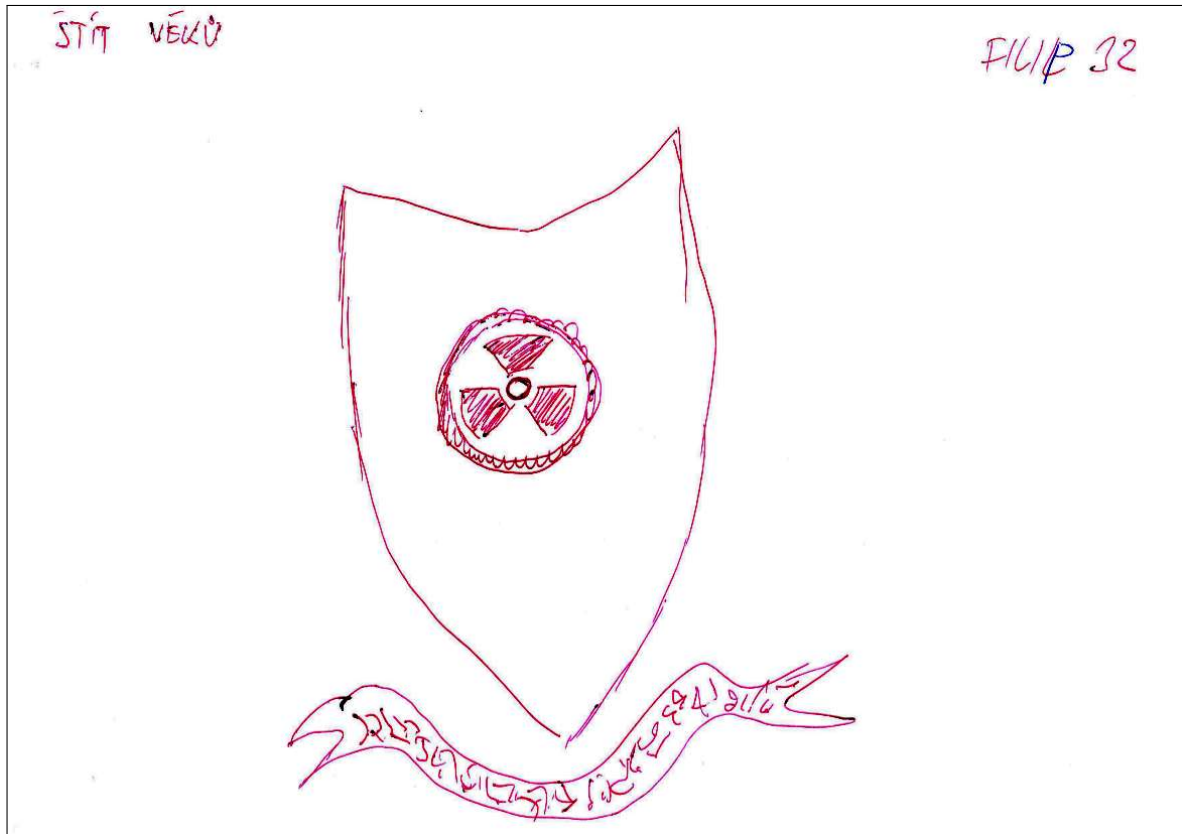
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



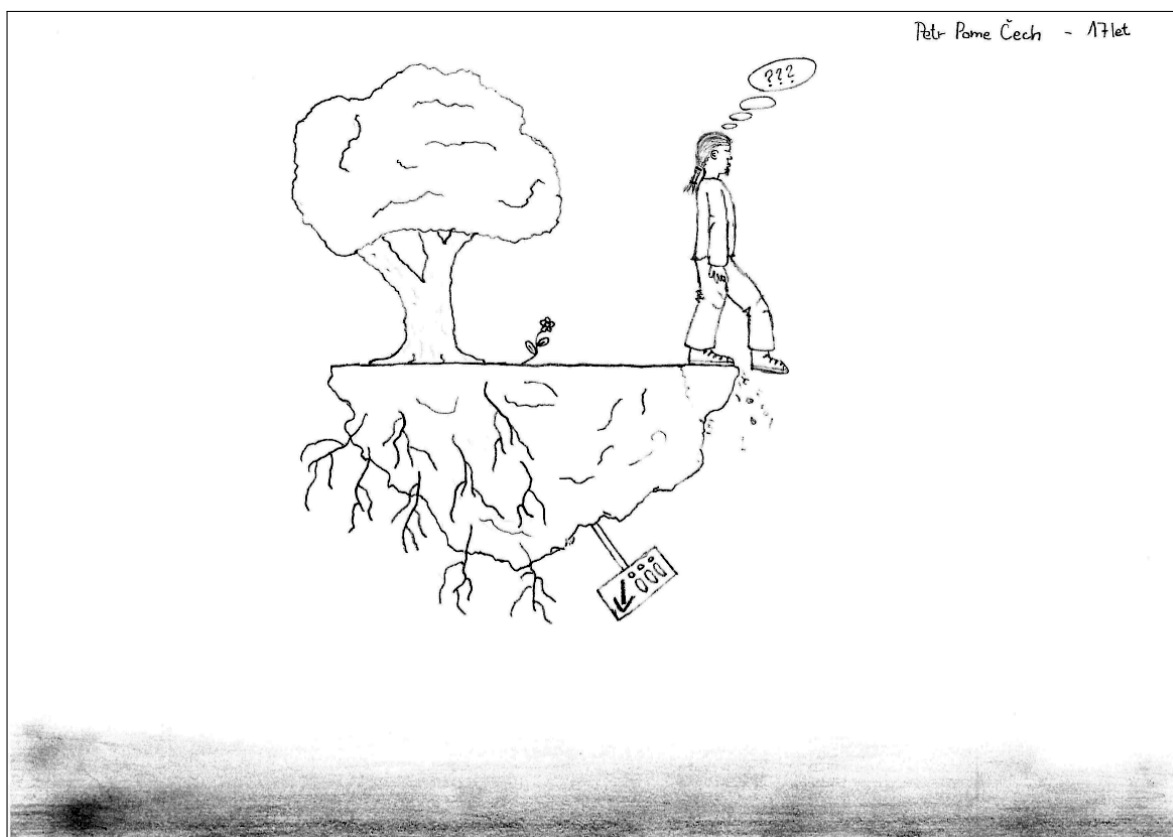
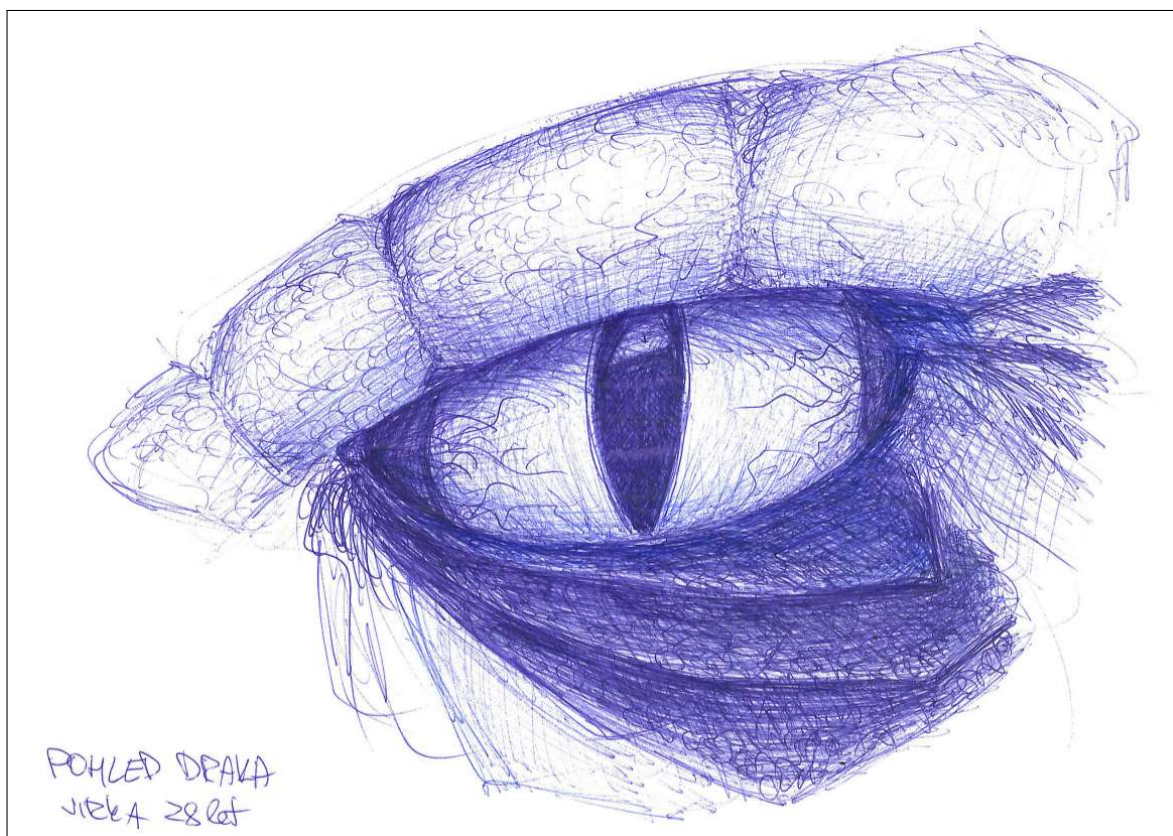
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



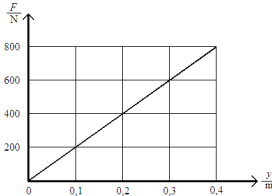
Příloha R – Explorativní výzkum obrázků

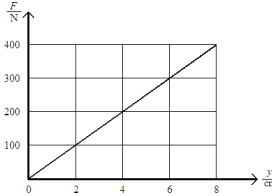


Příloha R – Explorativní výzkum obrázků



Příloha S – Didaktický test

Kmitání – dynamika	Varianta A
<p>Na pružinu o tuhosti $200 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ zavěsíme těleso o hmotnosti $8,0 \text{ kg}$. Předpokládáme, že velikost tíhového zrychlení je $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.</p>	
<p>1. O jakou délku se prodlouží pružina? A) $0,04 \text{ m}$ B) $0,25 \text{ m}$ C) $0,40 \text{ m}$ D) $2,5 \text{ m}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>2. Jaká je doba kmitu tělesa zavěšeného na pružině, jestliže je rozkmitáme? Hmotnost pružiny zanedbejte. A) $0,80 \text{ s}$ B) $1,26 \text{ s}$ C) $5,0 \text{ s}$ D) 25 s <i>Řešení:</i></p>	
<p>Těleso o hmotnosti m zavěšené na pružině o tuhosti k koná harmonický pohyb s frekvencí f_0.</p>	
<p>3. S jakou frekvencí f kmitá na těže pružině těleso o čtyřikrát menší hmotnosti? A) $f = 4f_0$ B) $f = 2f_0$ C) $f = f_0$ D) $f = f_0 / 2$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>4. S jakou frekvencí f kmitá těleso o hmotnosti m na pružině o čtyřikrát menší tuhosti? A) $f = 4f_0$ B) $f = 2f_0$ C) $f = f_0$ D) $f = f_0 / 2$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>5. S jakou frekvencí f by kmitalo těleso o hmotnosti m na pružině o tuhosti k, kdyby se čtyřikrát zmenšilo tíhové zrychlení? A) $f = 4f_0$ B) $f = 2f_0$ C) $f = f_0$ D) $f = f_0 / 2$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>Na obrázku je nakreslen graf velikosti síly působící na pružinu v závislosti na prodloužení pružiny. Prodloužení je v metrech.</p>	
<p>6. Jakou tuhost má pružina? A) $0,005 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ B) $18 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ C) $600 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ D) $2\,000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>7. Jakou práci vykoná síla, která prodlouží pružinu ze základní polohy o $0,3 \text{ m}$? A) 90 J B) 180 J C) 600 J D) $2\,000 \text{ J}$ <i>Řešení:</i></p>	
	
<p>Kulička o hmotnosti m zavěšená na niti o délce l se kývá s dobou kmitu 2 s. přičemž úhlová výchylka niti není větší než 5°. Velikost tíhového zrychlení je g.</p>	
<p>8. Jaká je doba kmitu kuličky o hmotnosti m na niti o délce $4l$? A) 8 s B) 4 s C) 2 s D) 1 s <i>Řešení:</i></p>	
<p>9. Jaká je doba kmitu kuličky o hmotnosti $4m$ na niti o délce l? A) 8 s B) 4 s C) 2 s D) 1 s <i>Řešení:</i></p>	
<p>10. Jaká by byla doba kmitu kuličky o hmotnosti m na niti o délce l, kdyby se tíhové zrychlení zvětšilo na $4g$? A) 8 s B) 4 s C) 2 s D) 1 s <i>Řešení:</i></p>	
<p>Mechanický oscilátor tvoří těleso zavěšené na pružině. Těleso koná harmonický pohyb po úsečce AE, jejíž střed je označen C. Změny tíhové potenciální energie tělesa neuvažujte.</p>	
<p>11. Ve kterých bodech má oscilátor největší potenciální energii pružnosti? A) ve všech stejnou B) v bodech A a E C) v bodě C D) v bodech B a D</p>	
<p>12. Ve kterých bodech má oscilátor největší celkovou mechanickou energii? A) ve všech stejnou B) v bodech A a E C) v bodě C D) v bodech B a D</p>	
<p>Těleso o hmotnosti m zavěšené na pružině o tuhosti k v tíhovém poli o zrychlení g se pohybuje tak, že se kývá do stran a současně se pružina natahuje a zkracuje.</p>	
<p>13. O jaký pohyb se v krajním případě může jednat? A) periodický B) harmonický C) chaotický D) vůbec kmitat nebude</p>	
<p>14. Jak se bude kyvadlo pohybovat ve stavu beztíže? Nezapomeň popsat jak má být uchyceno.</p>	
<p>15. Jak se bude pružinový oscilátor pohybovat ve stavu beztíže? Nezapomeň popsat jak má být uchycen.</p>	

Kmitání – dynamika	Varianta B
<p>Na pružinu o tuhosti $400 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ zavěsíme těleso o hmotnosti $4,0 \text{ kg}$. Předpokládáme, že velikost tíhového zrychlení je $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.</p>	
<p>1. O jakou délku se prodlouží pružina? A) $0,10 \text{ m}$ B) $0,40 \text{ m}$ C) $1,0 \text{ m}$ D) $4,0 \text{ m}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>2. Jaká je doba kmitu tělesa zavěšeného na pružině, jestliže je rozkmitáme? Hmotnost pružiny zanedbejte. A) $0,10 \text{ s}$ B) $0,63 \text{ s}$ C) $1,6 \text{ s}$ D) 10 s <i>Řešení:</i></p>	
<p>Těleso o hmotnosti m zavěšené na pružině o tuhosti k koná harmonický pohyb s frekvencí f_0.</p>	
<p>3. S jakou frekvencí f kmitá na těže pružině těleso o čtyřikrát větší hmotnosti? A) $f = 4f_0$ B) $f = 2f_0$ C) $f = f_0$ D) $f = f_0 / 2$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>4. S jakou frekvencí f kmitá těleso o hmotnosti m na pružině o čtyřikrát větší tuhosti? A) $f = 4f_0$ B) $f = 2f_0$ C) $f = f_0$ D) $f = f_0 / 2$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>5. S jakou frekvencí f by kmitalo těleso o hmotnosti m na pružině o tuhosti k, kdyby se čtyřikrát zvětšilo tíhové zrychlení? A) $f = 4f_0$ B) $f = 2f_0$ C) $f = f_0$ D) $f = f_0 / 2$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>Na obrázku je nakreslen graf velikosti síly působící na pružinu v závislosti na prodloužení pružiny. Prodloužení je v centimetrech.</p>	
<p>6. Jakou tuhost má pružina? A) $2 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ B) $18 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ C) $50 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ D) $5\,000 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>7. Jakou práci vykoná síla, která prodlouží pružinu ze základní polohy o 6 cm? A) 9 J B) 18 J C) 300 J D) $5\,000 \text{ J}$ <i>Řešení:</i></p>	
	
<p>Kulička o hmotnosti m zavěšená na niti o délce l se kývá s dobou kmitu 2 s. přičemž úhlová výchylka niti není větší než 5°. Velikost tíhového zrychlení je g.</p>	
<p>8. Jaká je doba kmitu kuličky o hmotnosti m na niti o délce $l/4$? A) 4 s B) 2 s C) 1 s D) $0,5 \text{ s}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>9. Jaká je doba kmitu kuličky o hmotnosti $m/4$ na niti o délce l? A) 4 s B) 2 s C) 1 s D) $0,5 \text{ s}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>10. Jaká by byla doba kmitu kuličky o hmotnosti m na niti o délce l, kdyby se tíhové zrychlení zmenšilo na $g/4$? A) 4 s B) 2 s C) 1 s D) $0,5 \text{ s}$ <i>Řešení:</i></p>	
<p>Mechanický oscilátor tvoří těleso zavěšené na pružině. Těleso koná harmonický pohyb po úsečce AE, jejíž střed je označen C. Změny tíhové potenciální energie tělesa neuvažujte.</p>	
<p>11. Ve kterých bodech má oscilátor největší kinetickou energii? A) v bodech A a E B) v bodech B a D C) v bodě C D) ve všech stejnou</p>	
<p>12. Ve kterých bodech má oscilátor největší celkovou mechanickou energii? A) v bodech A a E B) v bodech B a D C) v bodě C D) ve všech stejnou</p>	
<p>Těleso o hmotnosti m zavěšené na pružině o tuhosti k v tíhovém poli o zrychlení g se pohybuje tak, že se kývá do stran a současně se pružina natahuje a zkracuje.</p>	
<p>13. O jaký pohyb se v krajním případě může jednat? A) harmonický B) chaotický C) periodický D) vůbec kmitat nebude</p>	
<p>14. Jak se bude kyvadlo pohybovat ve stavu beztíže? Nezapomeň popsat jak má být uchyceno.</p>	
<p>15. Jak se bude pružinový oscilátor pohybovat ve stavu beztíže? Nezapomeň popsat jak má být uchycen.</p>	

Příloha T – Dotazník pro průzkum oblíbenosti prezentací

Dotazník

Označte písmeno u Vámi vybrané odpovědi. Vždy označte jen jednu odpověď.

- I. Pohlaví: a) muž b) žena
- II. Zájem o technické obory: a) co to je? (nemám) b) tu a tam c) technika a věda jsou mi vším
- III. Sci-fi nebo fantasy: a) miluji nadevše b) se mi občas líbí c) mě vůbec nezajímá, jsou to voloviny
- IV. Myslím si, že svět popsaný ve většině sci-fi filmech či povídkách je
a) možný b) nemožný c) jen z části možný
- V. Studuji zaměření/obor (nebo uveďte třídu): _____
- VI. Prezentace zabývající se sci-fi filmy či povídkami mě
a) zaujaly b) nezaujaly c) byly ukradené
- VII. V prezentacích bych ocenil/ocenila více
a) obrázků b) rovnic c) grafů a tabulek
- VIII. Prezentace co jsem viděl/viděla byly
a) velmi jednoduché b) komplikované c) přiměřené mým schopnostem
- IX. Ve srovnání s běžnou hodinou byly pro mě prezentace
a) zajímavější b) méně zajímavé c) asi tak stejně zajímavé
- X. Do budoucna bych chtěl/chtěla vidět více prezentací
a) ano b) ne c) několik málo během roku stačí
- XI. Další zajímavé prezentace se sci-fi tematikou by mě ke studiu fyziky
a) více motivovaly b) demotivovaly c) neovlivnily
- XII. Kdyby během prezentace byly demonstrovány některé jevy experimentálně, bylo by to
a) super b) k ničemu c) bylo by mi to jedno

Líbilo by se mi, kdyby se v prezentacích: _____

Další návrhy a připomínky mám k: _____

Děkuji za vyplnění