

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA EXPERIMENTÁLNÍ FYZIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Fyzika na ISS



Vypracoval:	Jiří Liška
Studijní program:	B1701 Fyzika
Studijní obor:	1701R003 Fyzika se zaměřením na vzdělávání
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí diplomové práce:	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
Termín odevzdání práce:	červenec 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Lukáše Richterka, Ph.D. a že jsem použil zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci dne 27. července 2017

.....
Jiří Liška

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Jiří Liška
Název práce	Fyzika na ISS
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2017
Abstrakt	Seznámení s projektem Mezinárodní vesmírné stanice a života astronautů na stanici. Důraz je kladen na vysvětlení výhod experimentů ve vesmíru a zajímavé fyzikální experimenty prováděné na stanici. V závěru jsou řešeny některé úlohy související se stanicí v rámci fyziky na úrovni střední školy.
Klíčová slova	Mezinárodní vesmírná stanice, experimenty ve vesmíru, příklady z fyziky pro SŠ
Počet stran	39
Počet příloh	0
Jazyk	český

Bibliographical identification

Autor's first name and surname	Jiří Liška
Title	Physics on the ISS
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.
The year of presentation	2017
Abstract	Introduction to the International Space Station and the astronaut's life at the station. The explanation of the benefits of interesting space and physical experiments performed on the board of ISS is emphasized. The reasoning and used and mathematical apparatus corresponds to the secondary school level physics.
Keywords	International Space Station, experiments in space, examples of physics for secondary school
Number of pages	39
Number of appendices	0
Language	czech

Úvod

Mezinárodní vesmírná stanice (ISS) je největší lidmi postavenou konstrukcí vypouštěnou na oběžnou dráhu Země a její existence je také významným milníkem v rámci mezinárodní spolupráce. Je jedním z nejnákladnějších výzkumných zařízení a bez vzájemné spolupráce zúčastněných států by tak nákladný projekt nemohl vzniknout a fungovat. ISS patří pro laickou veřejnost mezi nejzajímavější projekty, protože lidé na Zemi mohou na vlastní oči pozorovat průlety stanice a uvědomit si, že právě tam probíhají experimenty, které mohou změnit svět. Již téměř 17 let má na své palubě astronauty, kteří zde každý den obsluhují vědecká zařízení a přinášejí nové poznatky téměř ze všech oblastí lidské činnosti. Důvodem jejího vzniku je především možnost provádět experimenty v prostředí vesmíru tak, aby pozemské vlivy co nejméně ovlivnily průběh měření. Výzkumy prováděné na její palubě mohou přinést užitek celému lidstvu bez ohledu na to, jestli se daný stát na projektu podílí. Získané poznatky mohou pomoci při léčbě nemocí, zkoumání nových materiálů, pro plánování budoucích vesmírných misí a dalších oblastech. Téma Mezinárodní vesmírné stanice tak nabízí mnoho námětů ke zpracování, jedním z nejzajímavějších je fyzikální podstata jevů a dějů spojených se stanicí.

Cílem této práce je vytvoření materiálu použitelného ve výuce na střední škole, případně v zájmových kroužcích a seminářích, který by měl seznámit čtenáře s projektem Mezinárodní vesmírné stanice, jeho historií, současným stavem a životem posádky. Zvláštní důraz byl kladen na výhody realizace fyzikálních experimentů na palubě ISS a představení některých z nich, a dále pak na vlastní řešení některých fyzikálních úloh týkajících se ISS a řešitelných středoškolskými postupy.

Důvodem výběru tohoto tématu pro mou bakalářskou práci je osobní zájem o nové poznatky z oblasti fyziky a výzkumu vesmíru. Dále jsem se snažil touto svou prací ukázat některé zajímavé současné směry fyzikálního výzkumu a možné využití získaných poznatků k dalšímu rozvoji vědy a techniky. Velmi mě také zaujala možnost navrhnout fyzikální příklady související s tématem a hledat postupy na středoškolské úrovni, jakými by bylo možné je vyřešit.

Téma této bakalářské práce bylo vypsáno v souvislosti s rádiovým spojením mezi ISS a studenty středních škol v Olomouci, které proběhlo 8. března 2016 v budově Přírodovědecké fakulty UP. Vybraní studenti olomouckých gymnázií během necelých deseti minut pokládali otázky britskému astronautovi Timothy Peakovi. Otázky studentů se týkaly každodenního života na stanici, způsobů jakými se vyrovnávají astronauti s mikrogravitací apod. Kromě studentů pokládajících otázky a operátorů obsluhujících radiostanici, se přímo v místnosti, kde spojení probíhalo, sešli také pozvaní hosté a zástupci celostátních médií. Současně byl průběh kontaktu vysílán i na internetu. Odkazy se záznamem průběhu komunikace, otázek studentů a další informace o události, lze najít na stránkách akce [23].

Kontakt byl realizován v rámci projektu ARISS a zúčastnilo se ho několik organizací z Olomouce a okolí. Mezi zúčastněné organizace patřil Hanácký radioklub,

Gymnázium Olomouc – Čajkovského 9, Gymnázium Olomouc – Hejčín, Slovanské gymnázium, PřF UP Olomouc, UP Crowd, ale i další organizace a instituce, které pomohly k úspěšnému spojení. Podobně jako v případě této práce, byl jedním z cílů rádiového spojení přiblížit témata spojená s ISS a kosmickým výzkumem studentům středních škol.

Obsah

1	Základní informace o ISS	8
2	Historie ISS	10
2.1	Důležité milníky	11
3	Život na ISS	12
3.1	Jak se stát astronautem ESA	12
3.2	Základní rozdíly proti Zemi	13
3.3	Vzhled stanice	14
3.4	Komunikace s ISS	15
3.5	Denní program na ISS	16
3.6	Některé zajímavosti o ISS	17
4	Fyzika na ISS	18
4.1	Proč provádět experimenty ve vesmíru?	18
4.2	Oblasti fyzikálního výzkumu	18
4.3	Zajímavé experimenty	19
4.4	Další oblasti výzkumu	21
4.5	Průmět trajektorie ISS na povrch Země	22
5	Fyzikální problémy související s ISS	23
5.1	Jak rychle se Mezinárodní vesmírná stanice pohybuje?	23
5.2	Gravitační zrychlení	27
5.3	Průmět trajektorie na povrch Země	28
5.4	Jakou část zemského povrchu není možno nikdy pozorovat z paluby ISS?	29
5.5	Jak dlouho lze ISS přímo pozorovat?	31
5.6	Dopplerův jev při komunikaci s ISS	34
	Použité zdroje	37

Kapitola 1

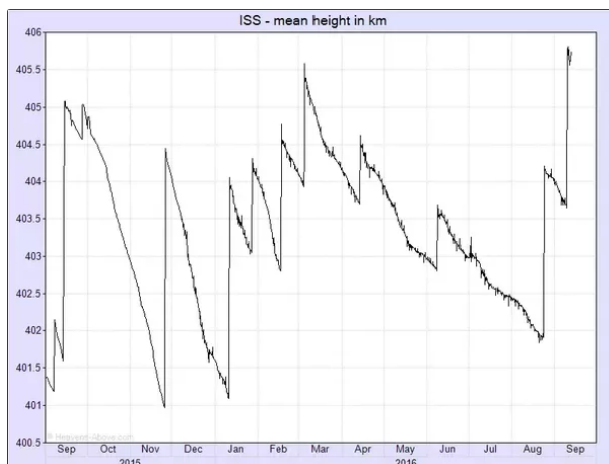
Základní informace o ISS

Mezinárodní vesmírná stanice, nazývaná také zkráceně ISS (z angl. International Space Station), je v současnosti jedinou trvale obydlenou vesmírnou stanicí na oběžné dráze Země. Vznikla za spolupráce 15 států sdružených do 5 kosmických agentur. Hlavními partnery při provozování ISS jsou NASA (americký Národní úřad pro letectví a vesmír), Roskosmos (Ruská kosmická agentura), CSA (Kanadská kosmická agentura), JAXA (Japonská výzkumná agentura pro letectví a vesmír) a ESA (Evropská kosmická agentura), u které se projektu Mezinárodní vesmírné stanice účastní pouze jedenáct z jejích členů, např. ČR se na projektu nepodílí.

Současné plány počítají s provozem vesmírné stanice nejméně do roku 2020, ale probíhají už diskuze mezi partnerskými státy o prodloužení životnosti alespoň do roku 2028 [26].

Na noční obloze je ISS viditelná pouhým okem a patří mezi nejjasnější objekty na obloze. Časy přeletů a možnosti pozorování nad určitým místem, lze zjistit např. na stránkách Heavens Above [19].

Kosmická stanice létá v průměrné výšce 400 km nad povrchem Země a doba oběhu je přibližně 90 minut. Výška stanice postupně klesá vlivem tření o zemskou atmosféru. Ztracenou výšku získává stanice pomocí vlastních motorů, které se během roku několikrát spouštějí, aby vrátily stanici do původní výšky. V případě, že u stanice kotví zásobovací loď, využívá se k vyzdvižení i jejích motorů. Graf, který ukazuje výšku stanice v závislosti na čase od září 2015 do září 2016 je na obrázku 1.1.



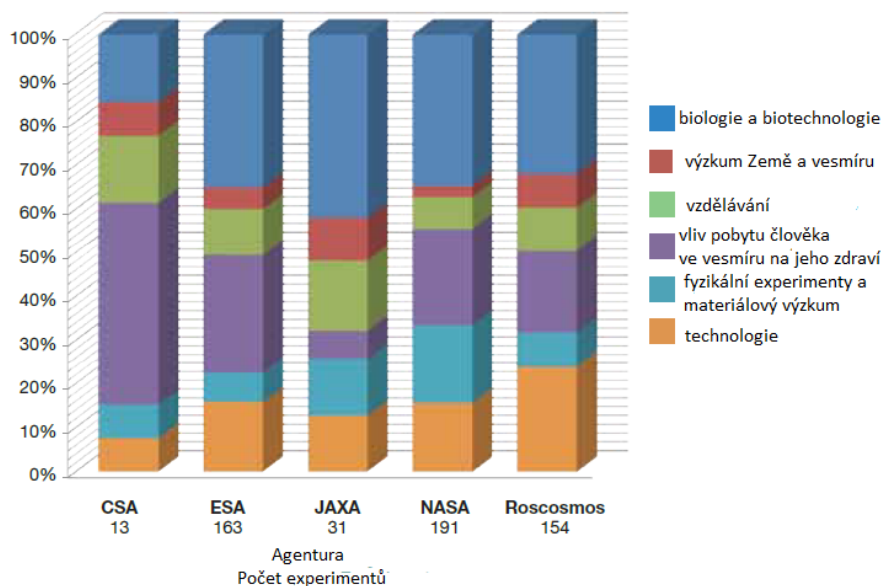
Obrázek 1.1: Změna výšky ISS během roku, zdroj [30]

Mezinárodní vesmírná stanice se skládá z částí (tzv. modulů), propojených navzájem přechodovými moduly anglicky označovaných nodes (uzly). Každý z nich má na stanici určitou funkci např. obytnou, pro realizaci experimentů, zázemí nezbytné pro chod stanice (sklady, generátory, komunikační zařízení) a další. Tyto moduly byly dopraveny jednotlivě na oběžnou dráhu, kde byly vzájemně spojeny. Každý modul patří některé z kosmických agentur, která zodpovídá za jeho provoz a rozhoduje o jeho využívání.

Hlavním cílem stanice je výzkum nových technologií a poskytnutí místa pro astronomická, environmentální, geologická pozorování a studium vlivu vesmírného prostředí na živé organismy. Experimenty prováděné na Mezinárodní vesmírné stanici lze rozdělit do několika kategorií mezi něž patří [24]:

- biologie a biotechnologie,
- výzkum Země a vesmíru,
- vzdělávání,
- vlivu pobytu člověka ve vesmíru na jeho zdraví,
- fyzikální experimenty a materiálový výzkum,
- výzkum a testování nových technologií.

Na obrázku 1.2 je graf zastoupení jednotlivých kategorií experimentů pro jednotlivé kosmické agentury v březnu 2010.



Obrázek 1.2: Zastoupení experimentů u jednotlivých agentur v březnu 2010, převzato a upraveno podle [24]

Kapitola 2

Historie ISS

Ačkoliv se uvažovalo o stavbě mezinárodní kosmické stanice už v 70. letech, NASA vytvořila pracovní skupinu (Space Station Task Force), která se začala zabývat koncepčním návrhem mezinárodní kosmické stanice až v květnu 1982. Plány na stavbu mezinárodní kosmické stanice se staly reálnými až s příchodem raketoplánů, které měly zlevnit lety do vesmíru. Bylo plánováno, že raketoplány vynesou části budoucí stanice na oběžnou dráhu ve svém nákladovém prostoru a následně na ni budou dopravovat zásoby. Prvním úspěšným letem raketoplánu se stal let raketoplánu Columbia, který se odehrál mezi 12. dubnem a 14. dubnem 1981, tedy pouhý rok před vznikem výše zmíněné pracovní skupiny, jejímž cílem bylo vytvoření vesmírné stanice, která měla fungovat jako základna pro zkoumání Měsíce a dalších planet.

V polovině roku 1982 se NASA rozhodla k realizaci tohoto projektu v rámci mezinárodní spolupráce, která byla nabídnuta Kanadě a spřáteleným evropským státům. V rámci této spolupráce vyvinula Kanadská vesmírná agentura mechanický manipulátor, který se stal součástí amerických raketoplánů, a který dovoľoval dálkovou manipulaci předmětů dovnitř a ven z nákladového prostoru raketoplánu, čímž se otevřely nové možnosti, jak dopravit jednotlivé díly stanice na oběžnou dráhu. ESA v té době pracovala na projektu umožňující experimenty ve vesmíru. Některé z nich se nedaly provést v raketoplánu a byly již dříve realizovány ve spolupráci s NASA na stanici Skylab (např. experiment Silver Grids Melted in Space[6]). Stanice Skylab byla americkou předchudkyní ISS, ale shořela v atmosféře již roku 1979. ESA se rozhodla využít svých získaných poznatků při stavbě ISS.

Zlomovým datem se stal 25. duben 1984, kdy americký prezident Ronald Reagan oznámil plány na stavbu stanice před americkým kongresem. Avšak po nehodě raketoplánu Challenger v roce 1986 došlo k omezení letů do vesmíru, což mělo za následek dodatečné úpravy a zjednodušení plánů na stavbu stanice.

V lednu 1985 ESA schválila program Columbus na stavbu vlastní části vesmírné stanice, který se rozhodla realizovat ve spolupráci s ISS. Ve stejném roce byly uzavřeny předběžné dohody o spolupráci při realizaci vesmírné stanice mezi kosmickými agenturami NASA, ESA, CSA a JAXA. Tento předběžný návrh mimo jiné deklaroval využití vesmírné stanice pro kosmické experimenty s využitím kosmického prostředí, dále jako základny pro další výzkum Měsíce a planet sluneční soustavy nebo jako místo, kde mohou být opravovány nefunkční družice. V roce 1988 získala budoucí stanice název Freedom. Podle plánů, měla výstavba stanice Freedom začít v roce 1995, obydlena měla být od roku 1997 a kompletně dokončená o rok později. Kvůli technickým problémům a snížení rozpočtu pro NASA americkým kongresem se zdála být výstavba nereálná, avšak změna nastala po pádu Sovětského svazu v roce 1989, kdy

došlo k uzavření několika mezinárodních dohod mezi USA a Ruskem, mimo jiné o spolupráci při výzkumu vesmíru. Projekt Freedom byl zrušen a nahrazen projektem Mezinárodní vesmírné stanice, kde se předpokládalo větší zapojení ostatních států, [11, 16].

2.1 Důležité milníky

V historii ISS lze nalézt několik významných událostí, uvedme si je ve stručném přehledu.

- 25. ledna 1984 prezident Ronald Regan během projevu vyhlásil plán NASA stavby vesmírné stanice během následujících 10 let.
- Roku 1985 se stávají partnery při stavbě stanice kosmické agentury CSA, JAXA a ESA.
- Roku 1993 se přidává agentura Roskosmos.
- 20. listopadu 1998 odstartoval z kosmodromu Bajkonur první segment budoucí ISS – modul Zarja.
- 4. prosince 1998 odstartoval americký raketoplán Endeavour spolu s modulem Unity v nákladovém prostoru.
- 7. prosince 1998 došlo ke spojení modulu Unity s modulem Zarja, vznikl tak zárodek budoucí stanice.
- 2. listopadu 2000 vstupuje první dlouhodobá posádka na palubu ISS ve složení Bill Shepherd, Yuri Gidzenko a Sergei Krikalev.
- V roce 2009 se během 19. expedice zvýšil počet členů posádky ze 3 astronautů na 6.
- V roce 2011 byla stavba ISS dokončena [31].

Kapitola 3

Život na ISS

3.1 Jak se stát astronautem ESA

Stát se astronautem není jednoduché, zájemci musí být schopni využít svých znalostí a dovedností k řešení zadaných úkolů, vypořádat se s neúspěchem a být schopni rychle a efektivně reagovat na nenadálou situaci. Požadavky na výkon tohoto povolání jsou velmi přísné, nezbytná je znalost angličtiny (znalost dalších jazyků je výhodou) a vysoká úroveň vzdělání v některém z vědeckých či technických oborů spolu s praxí v tomto oboru. Dále musí být zájemci o tuto práci fyzicky i psychicky zdraví a schopní se vyrovnat se stresem v náročných podmínkách, musí být schopni žít a pracovat v omezeném prostoru s dalšími lidmi, často pochazejícími z jiného kulturního prostředí.

Pokud zájemce uspěje u vstupního výběru, čeká ho ještě spousta práce než se dostane na palubu ISS. Samotné přijímací řízení se skládá z několika částí, po jejichž absolvování se vyberou nejlepší kandidáti, kteří mohou být poté dále trénováni například jako součást budoucí posádky Mezinárodní vesmírné stanice. Mezi požadovaná kritéria patří splnění základních požadavků (např. vzdělání), po jejichž splnění následují psychologické testy, lékařské prohlídky a několik kol pohovorů.

Základní trénink zahajují budoucí astronauti ESA 16 měsíčním kurzem v Evropském středisku pro astronauty (EAC) v německém městě Kolíně nad Rýnem, kde jsou vzděláváni a trénováni v základních dovednostech, které budou při pobytu na ISS potřebovat. Zahrnují rozšíření základních vědeckých a technických znalostí souvisejících s pobytem ve vesmíru, jako například nebeské mechaniky, počítačového inženýrství nebo lidské fyziologie ve stavu beztíže. Zvláštní část výuky se zaměřuje na práci s evropskými systémy na ISS. Účastníci výcviku se také dozví informace o řídicích centrech a agenturách účastnících se projektu Mezinárodní vesmírné stanice a jsou seznámeni s vesmírným právem. Součástí je také výuka ruštiny, protože ruští kosmonauti (jiný název pro ruského astronauta) tvoří část posádky, a zásoby i výměnu posádek zajišťují od roku 2011 převážně ruské lodě Sojuz. Tento úvodní kurs končí nácvikem speciálních dovedností jako je pilotáž vesmírného plavidla, nácvik výstupu do kosmu nebo práce s robotickým ramenem. Po ukončení této části výcviku se z kandidátů stávají oficiálně astronauti.

Následuje pokročilý trénink, který se odehrává kromě EAC i v dalších výcvikových střediscích ostatních zúčastněných agentur, kde nadále probíhá intenzivní výuka ruštiny a astronauti se zde seznámí s prvky ISS podrobněji. Naučí se pracovat se systémy ISS, létat a přistávat s bezpilotními transportními loděmi (například ruským Sojuzem) a probíhá další trénink výstupů do kosmu. Tato část je proti základnímu výcviku zaměřena více prakticky, je využíváno různých modelů a simulátorů. Mnoho

času stráví velmi podrobným studiem evropského modulu Columbus a jeho vědeckého vybavení. Po absolvování této části je astronaut schopen zúčastnit se mise na ISS.

Jakmile je astronaut přidělen na misi, čeká ho příprava na úkoly a experimenty, které bude následně provádět na palubě ISS. Všechny tyto výukové lekce absolvuje budoucí posádka společně, kdy se naučí efektivně spolupracovat a rozdělí si oblasti zodpovědnosti při pobytu na ISS. Jednotlivé úkoly jsou astronautům přidělovány podle jejich zkušeností a profesionálního zaměření. Ovládání každého systému na ISS má tři úrovně, uživatel, operátor a specialista. Každý astronaut je tak specialistou na některé systémy, u jiných je operátor a u další zvládá jenom uživatelskou obsluhu. Díky rozdělení na tyto úrovně jsou astronauti specializováni na ovládání konkrétních systémů již při výcviku. Rozdělení těchto rolí mezi posádkou je nezbytné pro splnění podmínek mise [8].

Některé zajímavé části výcviku:

CAVES (Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behaviour and performance Skills) – Mezinárodní posádka stráví 6 dní v podzemní jeskyni v izolaci od vnějšího světa, kde si vyzkouší týmovou spolupráci a soužití za skutečných podmínek. Během této doby provádí průzkum a mapování jeskyní, jako by se jednalo o jinou planetu.

NEEMO (NASA Extreme Environment Mission Operations) – Astronauti stráví několik dní ve výzkumné stanici Aquarius, která se nachází pod hladinou moře u pobřeží Floridy, kde se naučí žít společně v omezeném prostoru a spoléhat se na systémy podpory života.

Trénink přežití – Astronauti si vyzkouší přežití v extrémních podmínkách jen s vybavením, které se nachází v lodi Sojuz. Trénink má simulovat situaci, kdy se posádka po přistání ocitne na vzdáleném místě a bude muset dlouho čekat na záchranu.

3.2 Základní rozdíly proti Zemi

Život ve vesmíru je velmi specifický, astronauti na ISS musí během svého pobytu řešit spoustu na Zemi neobvyklých situací. Mezi prvními věcmi, na které si musí lidé na stanici zvyknout je neustálé střídání dne a noci. Jak již bylo řečeno dříve, doba oběhu stanice je přibližně 90 minut. To znamená, že se během 24 hodin na stanici vystřídá 16 denních cyklů. Proto je na stanici využíván čas označovaný zkratkou UT nebo UTC (Universal Time – česky světový čas). Tento světový čas odpovídá času na nultém poledníku. To tedy znamená, že na ISS mají o hodinu méně než v České republice (v době letního času o dvě).

V době kdy byl u stanice připojen raketoplán, přizpůsobila se posádka ISS času posádky raketoplánu, který se označoval jako Mission Elapsed Time (MET), a ten se počítal od startu raketoplánu.

Další věcí na kterou si musí astronauti na ISS zvyknout, jsou omezené zásoby jídla, vody a dýchatelného vzduchu, které se musí na ISS složitě dopravovat. Průměrně je potřeba 7 tun zásob pro tříčlennou posádku na dobu 6 měsíců [14]. V současnosti obývá stanici nejčastěji 6 astronautů, to znamená že je potřeba ročně dopravit na ISS kolem 28 tun nákladu. Pro snížení nákladů jsou na stanici zařízení na čištění vzduchu a vody, např. spotřeba dovážené vody se tak sníží o 65 % [14].

Zásobování je zprostředkováváno pomocí lodí, které kromě doručení zásob a případné výměny posádky pomáhají svými motory vyzvednout ISS na vyšší oběžnou dráhu. Ty z lodí, které nelze využít opakovaně, jsou po vyložení nákladu naplněny odpadky ze stanice a poté navedeny do atmosféry, kde shoří. Nejvíce využívaným typem lodí pro zásobování jsou ruské lodě Progress a Sojuz. Lodě Sojuz v současné době zajišťují výměny posádek na ISS, protože po ukončení provozu raketoplánů v roce 2011 se jedná o jedinou loď schopnou bezpečně transportovat astronauty na ISS a zpět na Zem. Současně plní funkci záchraného člunu v případě problémů na stanici. Mezi další lodě zajišťující zásobování patří japonská HTV a lodě Dragon a Cygnus, patřící soukromým americkým firmám SpaceX (Dragon) a Orbital ATK (Cygnus). V minulosti se využívaly americké raketoplány a lodě ATV provozované Evropskou kosmickou agenturou.

Další věcí, kterou si běžný obyvatel Země může jen těžko představit, je způsob zacházení s vodou. Voda ve stavu beztíže neteče, ale tvoří malé kuličky, které se mohou volně vznášet a ohrožovat tak okolní přístroje. Astronauti se tak například musí obejít bez sprchy nebo splachovacího záchodu, tak jak je známe. K omytí těla se využívá navlhčených jednorázových ručníků, kdy se po otření tímto vlhkým ručníkem osuší druhým, tentokrát suchým ručníkem. Po odhození obou ručníků do odpadu je jeho očištěn. Při použití záchodu na ISS se astronauti musí připoutat, aby neodlétl. Záchod na ISS na rozdíl od pozemského nefunguje na principu splachování vodou, ale vysává odpad proudem vzduchu. Je zde rozdíl mezi tuhým odpadem a močí, tuhý odpad nemá další využití a spolu s dalšími odpady po naplnění zásobovací lodě shoří s lodí v atmosféře. Moč je recyklována, a takto získaná voda je dále využívána.

3.3 Vzhled stanice

Mezinárodní vesmírná stanice je největší objekt, který byl lidmi vytvořen na oběžné dráze Země. Její hmotnost přesahuje 410 tun, na délku měří 95 m, na šířku 59 m. Její solární panely o výkonu přibližně 80 kW zabírají plochu asi 3000 m² [25].

Jak již bylo řečeno v úvodu, Mezinárodní vesmírná stanice se skládá z modulů spojených propojovacími moduly (nodes). Hlavní důvody takového uspořádání jsou dva. V první řadě tento způsob dovozoval postupné dopravení jednotlivých částí na oběžnou dráhu, protože celou stanici najednou by v současné době nebylo možné do kosmu vynést. Druhý důvod souvisí s bezpečností posádky. Například v případě protržení stěny modulu je možné modul uzavřít a zabránit tak úniku atmosféry ze zbytku stanice, která tak může být dále funkční.

Mezi nejznámější části stanice patří:

Columbus – Evropský výzkumný modul využívaný pro mnoho různých oblastí výzkumu, např. fyziky tekutin, materiálového inženýrství a jiných. Modul má místo pro 10 experimentálních zařízení uvnitř stanice a další experimenty mohou probíhat mimo modul díky plošinám na vnější straně modulu. Pohled na modul z vnějšku je na obrázku 3.1.

Cupola – Je malý modul určený k pozorování operací mimo ISS. Cupola má 6 bočních oken a jedno horní a je určena k ovládní mechanického manipulátoru; slouží také při navádění automatických lodí. Pohled na modul s astronautem Rone Garanem je na obrázku 3.2.

Destiny – Americký výzkumný modul zaměřený na výzkum zdraví, bezpečnost a kvalitu života lidí po celém světě. V modulu se nachází 24 míst pro vědecké experimenty, případně pro systémy stanice.

Harmony – Propojovací modul spojující modul Columbus, Kibō (japonský výzkumný modul) a modul Destiny. Funguje také jako místo, kam se připojují lodě dovážející zásoby. Současně poskytuje místo pro ubytování čtyř členů posádky a systému pro kontrolu životních podmínek, jako je distribuce elektrické energie, vytápění a přenos dat mezi Zemí a zbytkem stanice.

Zarja – První vyslaný modul ISS. V prvních fázích výstavby stanice fungoval jako zdroj energie, komunikace a řídil polohu stanice. Časem tyto funkce převzaly jiné moduly a nyní se využívá především jako sklad a pro korekci dráhy, k čemuž využívá vlastní motory.

Neuvádíme zde všechny části stanice, ostatní jsou neméně důležité, ale výše jmenované jsou nejznámější.



Obrázek 3.1: Columbus, zdroj: <https://archive.org/details/s127e009781>



Obrázek 3.2: Cupola, zdroj: <https://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-28/html/iss028e048571.html>

3.4 Komunikace s ISS

Komunikace ISS s pozemskými řídicími středisky je zprostředkována sítí geosynchronních satelitů TDRS, pomocí kterých je možno komunikovat i v případě, že se středisko a ISS nacházejí na opačných stranách zeměkoule. Přímá komunikace je velmi nepraktická, protože ISS je z jednoho místa pozorovatelná jen po velmi krátkou dobu. Tuto dobu lze odhadnout například postupem uvedeným v příkladě 5.5. Přesto dochází k přímé komunikaci, kdy někteří astronauti ve svém volném čase komunikují s radioamatéry na Zemi, kteří bývají označováni jako hams [4].

S komunikací na ISS souvisí projekt ARISS (Amateur Radio on the International Space Station), který vznikl spoluprací radioamatérských organizací po celém světě a kosmických agentur NASA, Roskosmos, CSA, JAXA, ESA. Všechny tyto organizace sponzorují a pomáhají zprostředkovat komunikaci s posádkou na ISS. Mezi cíle tohoto projektu patří možnost se zajímavým způsobem dozvědět o průzkumu vesmíru a vesmírných technologiích, ale také možnost pracovat s amatérským rádiem a seznámit se lépe s jeho fungováním. Přínosy má i pro astronauty, kteří se díky tomu mohou rádiově spojit i s lidmi mimo řídicí střediska.

Z tohoto výčtu je patrné, že hlavní cílovou skupinou tohoto projektu jsou studenti a učitelé, případně skupiny se zájmem o amatérské radiovysílání. Do programu je možno se přihlásit a po splnění kritérií je možno dosáhnout realizace komunikace, tak jako se to podařilo 8. března 2016 v Olomouci (více informací o uskutečněném spojení lze nalézt na webových stránkách akce [23]).

3.5 Denní program na ISS

Jak bylo řečeno výše, posádka Mezinárodní vesmírné stanice se řídí časem UTC. Jednotný čas je nezbytný pro synchronizaci jednotlivých komunikačních center v různých oblastech na Zemi.

Pracovní den na ISS začíná budíčkem v 6:00 následovaným kontrolou systémů stanice, ranní hygienou a snídaní. Přibližně v 8:00 probíhá porada s řídicími středisky o plánech na daný den. Poté jde každý astronaut pracovat na svých úkolech. Úkoly se většinou skládají z realizace vědeckých experimentů a údržby na stanici. Každý astronaut má také vyhrazený čas (nejméně 2 hodiny), kdy musí absolvovat cvičení na posilovacím stroji z důvodu udržení fyzické kondice, protože svaly ve stavu beztlíže rychle ochabují. Přibližně mezi 13:00 a 14:00 mají astronauti na ISS pauzu na oběd, po kterém následuje pokračování práce až do 18:00, kdy je vyhrazen čas na večerní hygienu následovaný přípravou pomůcek na další den. Večer proběhnou další porady s řídicími středisky o plánech na následující den a příprava večere, pro kterou je obvykle vyhrazen čas mezi 19:00 a 20:00. Mezi 20:00–21:30 posádka zkontroluje systémy stanice a poté má každý člen posádky volno, které může vyplnit dle své vůle.

V sobotu a neděli probíhá pouze údržba stanice a kontrola probíhajících experimentů, jinak mohou astronauti vyplnit svůj volný čas podle svých zájmů. Oblíbené je pozorování Země, hvězdné oblohy, komunikace s radioamatéry na Zemi a stejně tak mohou sledovat filmy nebo číst knihy, které si s sebou dovezou. Důležitou součástí pro psychickou pohodu posádky na ISS je komunikace s rodinnými příslušníky, pro kterou má každý člen vyhrazený čas o víkendu [16]. Ukázka z denního plánu z 12. listopadu 2014 je na obrázku 3.3, zkratky ve sloupci crew určují jednotlivé členy posádky a znamenají CDR – velitel, FE-1, FE-2 – letečtí inženýři.

TIME	CREW	CREW
06:00-06:05	CDR	REMINDER - Reading Reminder
06:00-06:10	FE-1	Morning Inspection. Laptop RS1(2) Reboot Laptop RSS2 Reboot
06:00-06:10	FE-2	Morning Inspection. SM ПСС (Caution & Warning Panel) Test
06:05-06:20	CDR	HRF - Sample collection and preparation for insertion
06:10-06:30	FE-1, FE-2	Post-sleep
06:20-06:25	CDR	HRF - Sample Blood MELFI Insertion
06:25-06:35	CDR	Morning Inspection
06:30-06:50	FE-1	Biochemical blood test. Blood Sampling
06:30-06:50	FE-2	Biochemical blood test. Blood Sampling – assistance
06:35-07:05	CDR	Post-sleep
06:50-07:40	FE-1, FE-2	BREAKFAST
07:05-07:40	CDR	BREAKFAST
07:40-07:55		Daily Planning Conference (S-band)

Obrázek 3.3: Ukázka části denního programu, zdroj: https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/111214_t1.pdf

3.6 Některé zajímavosti o ISS

Připomeňme některé další informace spojené s Mezinárodní vesmírnou stanicí.

- ISS je nejdéle obydlená vesmírná stanice. Trvale osídlena je od listopadu 2000. Druhou nejdéle obydlenou vesmírnou stanicí byla sovětská stanice MIR, která byla osídlena 4 591 dní [16].
- Stavba si vyžádala více jak 115 kosmických letů v pěti typech kosmických raket [14].
- ISS urazí za den vzdálenost srovnatelnou s cestou na Měsíc a zpět [14].
- Systémy na ISS kontroluje 52 počítačů [14].
- Stálé posádky jsou označovány jako expedice. Každá plánovaná expedice má dvě posádky, hlavní a záložní, která musí být připravena zaskočit v případě nemoci, zranění a podobně [16].
- Astronauti na ISS mají k dispozici dvě koupelny a posilovnu [14].
- Předávání velení na ISS nové expedicí je doprovázeno slavnostním ceremoniálem, který obnáší zazvonění na lodní zvon, krátké projevy a hymny USA a Ruska [16].
- Peggy Whitson (NASA) je první žena, která se stala velitelkou ISS. Během své první mise jako součást 5. expedice byla jmenována prvním vědeckým důstojníkem NASA, a následně velela 16., 50. a 51. expedici. V současné 52. expedici se účastní již třetího dlouhodobého pobytu jako členka expedice 50/51/52. Během svých prvních dvou expedic strávila ve vesmíru 377 dní a současným pobytem se toto číslo nadále zvyšuje, ale už nyní je držitelkou rekordu v celkové době pobytu Američana ve vesmíru [22]. Je také držitelkou většiny ženských rekordů týkajících se výstupů do volného kosmu [20].
- Scott Kelly (NASA) a Mikhail Kornienko (Roskosmos) jsou účastníci jednoletého pobytu ve vesmíru, což je dvakrát delší doba než běžné mise. Tito dva účastníci expedic 43–46 tedy drží rekord v nepřerušené době pobytu na ISS. Oba strávili na ISS 340 dní, čímž se Scott Kelly stal prvním Američanem, který strávil nepřetržitě téměř rok ve vesmíru. Cílem mise byl výzkum působení vlivu vesmírných podmínek na lidský organismus při dlouhodobém pobytu ve vesmíru [21]. Důvodem proč byl vybrán na jednoroční misi Scott Kelly, je mimo jiné jeho jednovaječné dvojče Mark Kelly, který býval také astronautem. Díky tomu mohlo dojít k porovnání dvou jedinců se stejnou genetickou výbavou, žijících po dobu jednoho roku v různých prostředích [29].

Kapitola 4

Fyzika na ISS

4.1 Proč provádět experimenty ve vesmíru?

Díky umístění Mezinárodní vesmírné stanice ve výšce přibližně 400 km nad povrchem Země na hranici volného kosmu jsou na ISS jedinečné podmínky pro realizaci vědeckých experimentů, kterých nelze na povrchu Země dosáhnout, nebo jen s velkými obtížemi.

Mezi tyto výhody patří:

- **Mikrogravitace.** Termín mikrogravitace je používán k popisu kosmického prostředí, protože naprosté beztíže není možno v praxi dosáhnout. Gravitační síla Země je v soustavě spojené s ISS kompenzována setrvačnou odstředivou silou, ISS tak vlastně padá volným pádem k povrchu, ale díky své rychlosti a zakřivení trajektorie na povrch nedopadne. Mikrogravitaci na obíhající ISS způsobuje tření stanice o zemskou atmosféru a vliv slunečního záření. Tyto síly mají za následek vznik zrychlení a tlačí předměty k přední části pohybující se ISS. V případě, že se ISS otáčí kolem své osy např. při spojení s přilétající kosmickou lodí, vznikají ještě navíc slapové síly. Všechny tyto vlivy mají za následek snížení gravitace uvnitř stanice na hodnoty $10^{-6}g$, v malé oblasti kolem těžiště dokonce $10^{-7}g$ (hodnota gravitačního zrychlení na povrchu Země je $1g$) [10]. Toho lze využít při zkoumání vlivu stavu beztíže na živé organismy, ale i na průběh fyzikálních dějů.
- **Extrémní podmínky.** ISS se pohybuje v oblasti velmi nepříznivých přírodních podmínek, které mohou být využity při testování nových materiálů využitelných pro dlouhodobé kosmické mise. Mezi tyto podmínky patří například vysoké vakuum (10^{-4} až 10^{-7} Pa), sluneční ultrafialové záření, ionizující záření, teplotní extrém (vně ISS se teplota mění mezi -120 °C až $+120\text{ °C}$) [7].
- **Trajektorie.** Díky své poloze na nízké oběžné dráze, sklonu oběžné dráhy vůči rovníku (inklinaci) $51,6^\circ$ a trajektorii, lze pozorovat až 90 % obyvatel Země, jejich vliv na životní prostředí a vyhodnocovat škody po živelných katastrofách.

4.2 Oblasti fyzikálního výzkumu

Mechanika tekutin

Mechanika tekutin se zabývá pohybem kapalin a plynů a jejich souvisejícím transportem hmoty, hybnosti a energie. Prostředí s nízkou gravitací nabízí jedinečnou příležitost ke studiu tekutin a transportních jevů. Pokusy prováděné na ISS přinesly

bohaté výsledky, které poskytly cenné informace o chování tekutin jak ve vesmírném prostředí, tak i na Zemi. Příkladem uveďme zjištění, že kritický bod látky se liší v prostředí mikrogravitace a na Zemi [25].

Hoření

V současné době je drtivá většina energie využívaná lidmi získávána spalováním nebo jinou chemickou cestou. Důsledkem spalování je vznik látek, které negativně ovlivňují životní prostředí (kyselá dešť, globální změny klimatu a další). Proces spalování zahrnuje velké množství chemických reakcí a dalších vnějších vlivů, a proto na Zemi zůstává mimo možnosti numerického modelování. Podmínky na ISS však dovolují vyloučit z tohoto procesu působení gravitace a tím usnadnit získávání základních poznatků, které budou využitelné i na Zemi [25].

Testování nových materiálů

Mikrogravitace na ISS poskytuje jedinečné podmínky pro testování nových materiálů. Nedochází zde k sedimentaci ani vzlaku, což umožňuje sledování vývoje materiálu po dlouhou dobu. Pochopením chování vzniku struktury materiálu se otevírají možnosti pro výrobu nových materiálů s dobře definovanými strukturami, lepší pevností a dalšími žádanými vlastnostmi [13].

Studium částicové fyziky a prostoročasu

Výzkum v této oblasti se zaměřuje na studium prostoru, času, energie a základních prvků hmoty. Einsteinova teorie gravitace vychází z odlišného konceptu (zakřivení prostoročasu), než pojetí ostatních interakcí ve standardním modelu částicové fyziky a kvarkové teorii pole, jež využívají částice (gluony, fotony, atd.). Experimenty v této oblasti by měly přispět k ověření Einsteinovy obecné teorie relativity. Významným cílem je také výzkum temné hmoty a temné energie, jejichž existenci předpovídají astrofyzikální a kosmologické modely např. na základě dat o rozpínání vesmíru.

4.3 Zajímavé experimenty

InSPACE

(Investigating the Structure of Paramagnetic Aggregates from Colloidal Emulsions)

Jedná se o soubor experimentů zabývajících se pochopením vzájemného působení magnetických, povrchových a odpuzivých sil v magnetoreologických (MR) tekutinách. Jedná se o tekutiny, které mají tendenci se samovolně shlukovat do útvarů při vystavení magnetickým polím. MR tekutiny mění viskozitu v magnetickém poli a dokonce je možné změnit jejich uspořádání v řádech nanometrů.

Při působení magnetických polí mohou MR tekutiny rychle přecházet do téměř pevného stavu, a po jeho odstranění se opět navrátit do stavu kapalného. Tento proces vytváří užitečné viskoelastické vlastnosti, které mohou být využity pro různá mechanická zařízení jako například systémy tlumení vibrací, snímače napětí, silné brzdné a spojkové mechanismy. Proces uspořádání MR kapalin by také mohl mít dlouhodobé důsledky pro návrh a výrobu celé řady nových nanomateriálů a nanotechnologií.

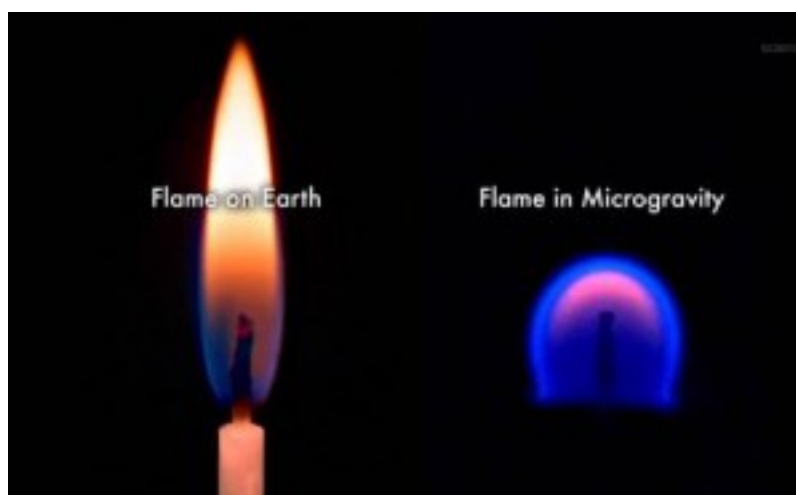
Prostředí mikrogravitace zpomaluje pohyb koloidních směsí, což umožňuje vědcům pochopit jejich interakce a hledat způsoby řízení samouspořádání těchto směsí. Tento druh experimentu se nedá realizovat na Zemi, protože nanočástice tekutiny by se z důvodu působení gravitace usadily příliš rychle [13].

FLEX (Flame Extinguishing Experiments)

Tento experiment studuje hoření při spalování kapalných paliv v prostředí mikrogravitace. Díky tomuto výzkumu bude možné vytvořit numerické modely pro různé podmínky hoření a pro různá kapalná paliva. Pochopení tohoto procesu v mikrogravitaci umožňuje zpřesňovat průběh spalování na Zemi, kde gravitace a turbulentní proudění ztěžují výzkum. Na obrázku 4.1 je možné porovnat plamen na Zemi (levý plamen) a v prostředí mikrogravitace (plamen vpravo).

Nedávná pozorování na ISS ukázala, že ve spalovacích komorách na oběžné dráze lze zaznamenat fenomén známý jako chladný plamen. Při spalování heptanu (C_7H_{16}), bylo objeveno dvoustupňové hoření. Když se zdálo, že kapka heptanového paliva uhasla, bylo zjištěno, že ve skutečnosti i nadále pokračovala v hoření ale bez přítomnosti plamene. Při prvním hoření došlo k běžnému horkému plameni, druhá fáze vypařování byla udržována tím, co je známé jako chladný plamen. Hoření chladného plamene probíhá při teplotách asi $600\text{ }^\circ\text{C}$, což je mnohem méně než teplota hořící svíčky, která hoří teplotou přibližně $1\,400\text{ }^\circ\text{C}$.

Díky tomu by mohlo v budoucnosti docházet k výraznějšímu využití spalování při nižších teplotách a tedy i k efektivnějšímu využívání paliva při konstrukci nových spalovacích motorů, které by byly úspornější a šetrnější k životnímu prostředí [13].



Obrázek 4.1: Plamen na Zemi a ve vesmíru, převzato z https://blogs.nasa.gov/ISS_Science_Blog/tag/us-research/page/2/

CFE a CCF

Experimenty CFE (Capillary Flow Experiments) a CCF (Capillary Channel Flow experiment) se zabývají výzkumem kapilárních jevů a mezifázových jevů tekutin.

Kapilární síly jsou na Zemi ovlivněny gravitační silou, proto je užitečné studovat je za podmínek nízké gravitace. Protože hydrostatický tlak v prostředí mikrogravitace není, je možné využít kapilárních sil k řízení a transportu tekutin v kosmických lodích. Na Zemi je účinek kapilárních sil omezen na vzdálenost několika milimetrů, ve vesmíru se jedná o metry.

Pochopení kapilárních a mezifázových jevů je užitečné pro množství systémů řízení proudění kapalin při malé gravitaci jako například při distribuci paliva a chladící kapaliny, ale také v systémech podpory života.

To by mohlo v budoucnosti být využito k řízení distribuce tekutin na kosmických

lodích při meziplanetárních misích [12].

AMS-02 (The Alpha Magnetic Spectrometer)

Alfa magnetický spektrometr je zařízení umístěné na ISS, které zkoumá elementární částice v kosmickém prostoru. Toto zařízení je schopné určit počet, energii a náboj částic procházejících skrze zařízení.

Detektor je zkonstruován k detekci částic antihmoty v kosmickém záření. Jedním z cílů projektu je přispět k pochopení povahy temné hmoty, jejíž existenci předpovídají některá astrofyzikální a kosmologická měření. Významné poznatky by mohlo měření nabídnout i pro plánování meziplanetárních letů. Díky dlouhodobému výzkumu kosmického záření by mohly být nalezeny způsoby, jak proti němu chránit astronauty [2].

Základem spektrometru jsou dva magnetické systémy, jeden z nich pracuje při teplotě okolí, a druhý pracuje při teplotě 1,8 K, této teploty je dosaženo díky chlazení 2500 litry helia. Na zařízení je možné dosáhnout intenzity magnetického pole až 0,15 tesla (to je asi 4000× více než magnetické pole Země). Částice jsou tímto magnetickým polem urychleny a nasměrovány do detektorů. Výhodou umístění tohoto zařízení na ISS spočívá v tom, že nabitě částice nejsou pohlcovány atmosférou [3].

BEAM (Bigelow Expandable Activity Module)

Jedná se o nafukovací modul firmy Bigelow Aerospace, který je připojen na ISS, kde je testován pro budoucí využití při výzkumu vesmíru. Výhodou nafukovacího modulu je úspora místa při přepravě, první takto testovaný modul zvětšil svůj objem po nafouknutí 4,5×. Testování zahrnuje například chování při nafukování, hermetičnost, radiační odolnost a změny teplot uvnitř modulu [5].

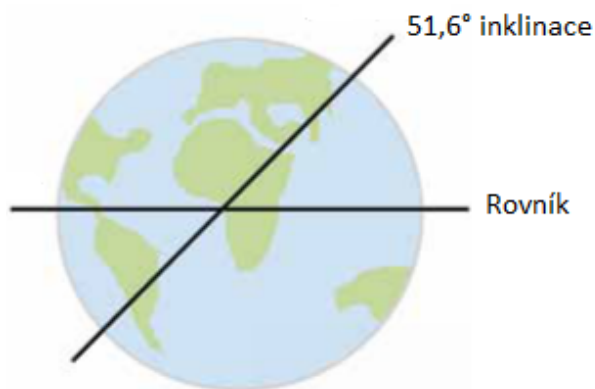
4.4 Další oblasti výzkumu

Mimo vyložené fyzikální experimenty, probíhá na Mezinárodní vesmírné stanici i výzkum v dalších oblastech. Stručně si zde uvedeme některé nejzásadnější.

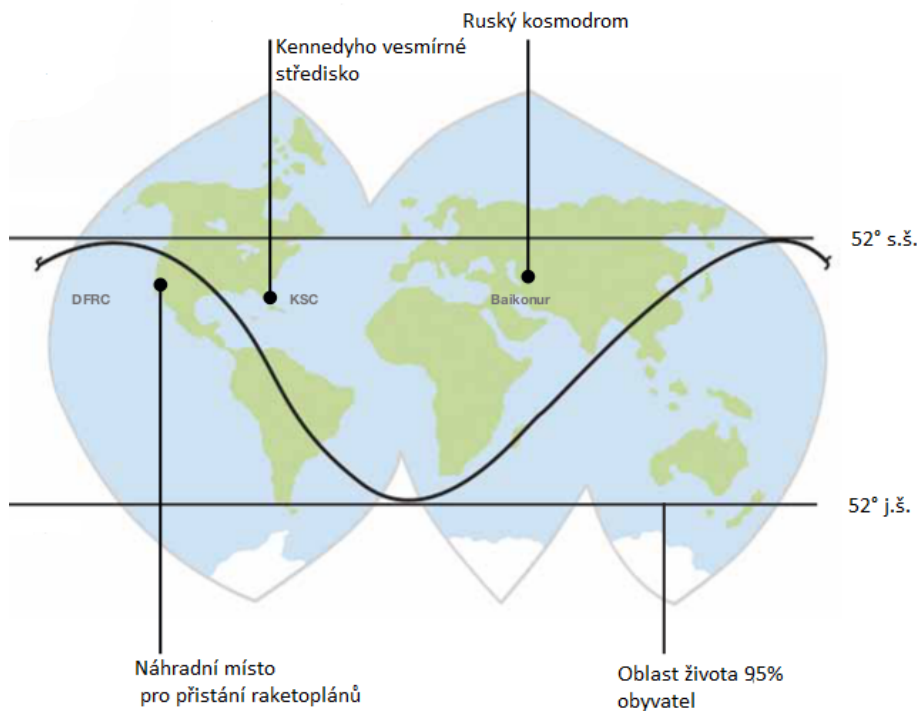
- **Biologie a biotechnologie** – Výzkum vlivu mikrogravitace na růst a vývoj živých organismů, pochopení jejich biologických procesů, výzkum nových léků, vliv kosmického záření na živé organismy.
- **Výzkum Země** – Sledování změn na zemském povrchu mimo jiné i těch způsobených člověkem, sbírání atmosférických dat k předpovídání počasí, vyhodnocování škod po přírodních katastrofách.
- **Vliv kosmického prostředí na člověka** – Výzkum fyziologických změn (řídnutí kostí, zmenšení srdce, atd.) při pobytu ve stavu beztlíže, vliv kosmického záření na posádku, psychické změny při dlouhodobém pobytu ve stresujícím prostředí.
- **Technologie** – Testování nových vesmírných pohonů, robotů a jiných autonomních systémů, komunikační a navigační technologie, systémy podpory života a další.

4.5 Průmět trajektorie ISS na povrch Země

Mezinárodní vesmírná stanice se pohybuje směrem na východ, její trajektorie svírá s rovníkem úhel přibližně $51,6^\circ$ (obrázek 4.2). Tato dráha byla vybrána úmyslně z ekonomických důvodů, protože je snadno dostupná pro lodě startující z kosmodromů zúčastněných agentur. Druhým důvodem je možnost pozorování vlivu člověka na životní prostředí, díky možnosti sledovat velkou plochu povrchu Země. Dalším důvodem je, že v blízkosti polárních oblastí by díky tvaru magnetických siločar v okolí Země byla posádka vystavena větším dávkám kosmického záření, především ze Slunce. Průmět dráhy vykresluje na dvourozměrné mapě zemského povrchu křivku (obrázek 4.3), která není uzavřená z důvodu rotace Země od západu na východ. Každý přelet je tak posunut směrem na západ. Vzdálenost o jakou se posune, lze odhadnout například pomocí postupu uvedeného v příkladě 5.3.



Obrázek 4.2: Sklon trajektorie k rovníku, převzato z https://www.nasa.gov/pdf/508318main_ISS_ref_guide_nov2010.pdf , upraveno



Obrázek 4.3: Průmět trajektorie na povrch, převzato z https://www.nasa.gov/pdf/508318main_ISS_ref_guide_nov2010.pdf , upraveno

Kapitola 5

Fyzikální problémy související s ISS

Pohyb ISS a prostředí v němž se pohybuje může být námětem úloh řešitelných středoškolskými postupy, v této kapitole ukážeme pár příkladů. Ve všech úvahách budeme Zemi považovat za dokonalou kouli.

5.1 Jak rychle se Mezinárodní vesmírná stanice pohybuje?

Předpokládejme, že se Mezinárodní vesmírná stanice pohybuje po kruhové trajektorii ve vzdálenosti 400 km nad zemským povrchem. Při výpočtu zanedbáme odpor atmosféry.

- Jaká musí být rychlost stanice, aby se pohybovala pořád ve stejné výšce?
- Jak dlouho jí trvá jeden oběh kolem Země?
- Jak se změní vypočtené hodnoty, budeme-li předchozí úkoly počítat pomocí Keplerových zákonů?

a) Uvažujme soustavu spojenou se Zemí. Země působí na ISS gravitační silou F_G , kterou lze vyjádřit vztahem

$$F_G = G \frac{mM_Z}{(R+h)^2},$$

kde G je Newtonova gravitační konstanta ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$), m je hmotnost stanice, M_Z je hmotnost Země ($M_Z = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$), R je poloměr Země ($R = 6378 \text{ km}$) a h je výška stanice nad zemským povrchem. Gravitační síla směřuje do středu Země a vytváří tak dostředivou sílu F_d , která způsobuje zakřivení trajektorie stanice. Velikost dostředivé síly lze vyjádřit vztahem

$$F_d = \frac{mv^2}{R+h},$$

kde v je rychlost družice. Z rovnosti $F_G = F_d$ plyne

$$G \frac{mM_Z}{(R+h)^2} = \frac{mv^2}{R+h},$$

odkud už snadnou úpravou vyjádříme velikost hledané rychlosti

$$v = \sqrt{\frac{GM_Z}{R+h}}.$$

Dosazením číselných hodnot získáme rychlost Mezinárodní vesmírné stanice

$$v \doteq 7\,670 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq 27\,600 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$

b) Dobu oběhu můžeme získat z dříve vypočtených hodnot. Známe-li rychlost Mezinárodní vesmírné stanice v , poloměr Země R a výšku stanice nad povrchem, lze spočítat dobu oběhu podle známých středoškolských vzorců

$$T = \frac{2\pi}{\omega},$$

$$v = r\omega,$$

kde ω je úhlová rychlost kruhového pohybu a r je vzdálenost od středu kružnice. Vyjádřením ω z druhého vztahu a dosazením do prvního získáme

$$T = \frac{2\pi r}{v}.$$

V našem případě se hodnota $r = R + h$, takže pro dobu oběhu získáme vztah

$$T = \frac{2\pi(R + h)}{v}.$$

Z předchozí části známe vztah pro rychlost družice, takže po úpravě získáme vztah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R + h)^3}{GM_Z}},$$

odkud po dosazení získáme dobu oběhu $T \doteq 5\,540 \text{ s} \doteq 92 \text{ min}$.

c) Dobu oběhu můžeme spočítat pomocí třetího Keplerova zákona, který zní: Poměr druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná poměru třetích mocnin hlavních poloos jejich trajektorií [27], v matematickém zápisu

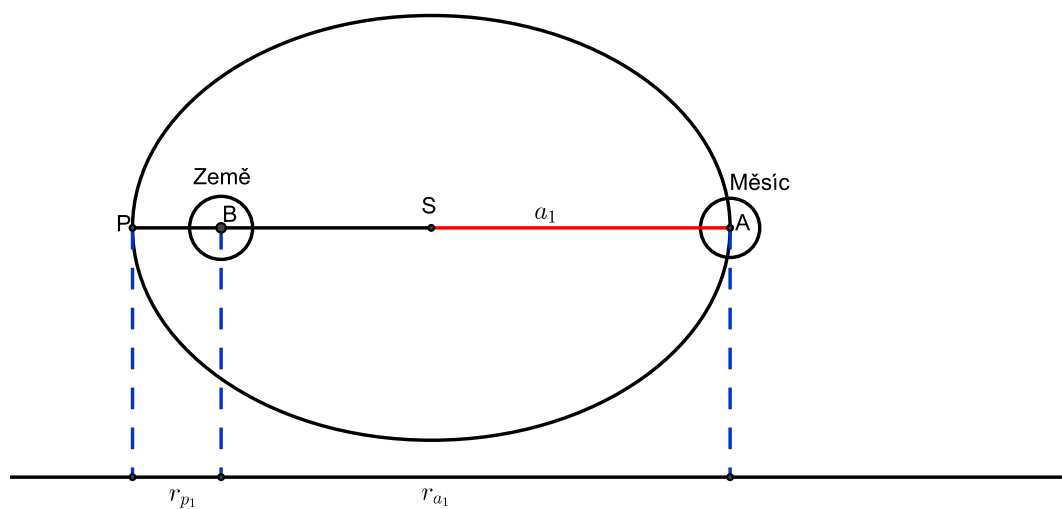
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (5.1)$$

V našem případě nebudeme počítat oběžnou dobu planet, ale satelitů obíhajících centrální těleso, kterým je Země.

K výpočtu budeme potřebovat následující údaje [18]:

siderická oběžná doba Měsíce	...	$T_1 = 27,321\,661$ dní
vzdálenost Měsíce v perigeu	...	$r_{p_1} = 356\,400$ km
vzdálenost Měsíce v apogeu	...	$r_{a_1} = 407\,700$ km
vzdálenost ISS v perigeu	...	$r_{p_2} = 6\,780$ km
vzdálenost ISS v apogeu	...	$r_{a_2} = 6\,786$ km

Výše uvedené údaje jsou vztaženy ke středu Země. Prvním úkolem bude určení délek hlavních poloos jednotlivých satelitů z uvedených údajů. Předpokládejme, že střed Země leží v ohnisku elips jednotlivých satelitů, potom v případě Měsíce si můžeme zakreslit situaci jako na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Ilustrační náčrt oběhu Měsíce kolem Země vytvořený pomocí programu GeoGebra; poměr velikosti těles, trajektorie ani výstřednost trajektorie neodpovídají skutečným hodnotám

Na obrázku 5.1 jsou vyznačeny tyto významné body

- P ... bod, kdy je Měsíc nejbližší Zemi (perigeum)
- B ... střed Země, ohnisko eplipsy
- S ... střed elipsy
- A ... bod, kdy je Měsíc nejdále Zemi (apogeum)

Z definice elipsy plyne, že vzdálenost bodů P a A je rovna dvojnásobku délky hlavní poloosy tj. $|PA| = 2a_1$. Z obrázku tedy můžeme odvodit, že

$$a_1 = \frac{r_{p_1} + r_{a_1}}{2}.$$

Obdobně spočítáme hlavní poloosu dráhy ISS

$$a_2 = \frac{r_{p_2} + r_{a_2}}{2}.$$

Po dosazení číselných hodnot získáme hodnotu $a_1 = 382\,050$ km pro Měsíc a hodnotu $a_2 = 6\,783$ km pro ISS. Úpravou vztahu 5.1, získáme vyjádření doby oběhu ISS

$$T_2 = T_1 \sqrt{\frac{a_2^3}{a_1^3}},$$

do které dosadíme dříve vypočtené hodnoty a získáme periodu oběhu ISS

$$T_2 \doteq 0,064 \text{ dne} \doteq 93 \text{ min.}$$

Rychlost ISS se vzhledem k eliptické trajektorii mění v závislosti na poloze. Odvození rychlosti je v tomto případě komplikovanější než v předchozí úvaze, proto zde uvedeme jen výsledný vzorec. Odvození lze najít například v [28].

$$v = \sqrt{GM_Z \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a_2} \right)}.$$

Veličina r je délkou průvodiče, tj. spojnice ohniska elipsy (středu Země) s bodem na elipse (pozicí ISS). Využitím druhého Keplerova zákona, který říká že obsahy ploch opsaných průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní [27], jsme schopni vypočítat nejvyšší a nejnižší rychlost, jaké na své trajektorii ISS dosahuje. Největší rychlosti dosahuje, když prolétá perigeem tj. $r = r_{p_2}$, nejmenší potom když prolétá apogeem tj. $r = r_{a_2}$:

$$v_p = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot \left(\frac{2}{6780 \cdot 10^3} - \frac{1}{6783 \cdot 10^3} \right)} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq 7672 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_a = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot \left(\frac{2}{6786 \cdot 10^3} - \frac{1}{6783 \cdot 10^3} \right)} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq 7665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

V obou případech získáme po zaokroulení rychlost $v = 7670 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Oběma zvolenými postupy jsme spočítali oběžnou dobu a rychlost ISS, získali jsme velmi podobné výsledky, které můžeme porovnat se záznamem z ISS trackeru na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Rychlost a výška ISS převzato z [17]

5.2 Gravitační zrychlení

Jaké je gravitační zrychlení ve výšce, kde se ISS pohybuje?

Údaje nezbytné k výpočtu:

hodnota gravitační konstanty	...	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$
hmotnost Země	...	$M_Z = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
rovníkový poloměr Země	...	$R_Z = 6\,378 \text{ km}$
výška stanice nad povrchem Země	...	$h = 400 \text{ km}$
gravitační zrychlení	...	$a_g = ?$

Gravitační zrychlení se rovná intenzitě gravitačního pole v daném místě tj. $a_g = K$, kterou lze vyjádřit pomocí známého vzorce

$$K = \frac{GM_Z}{r^2},$$

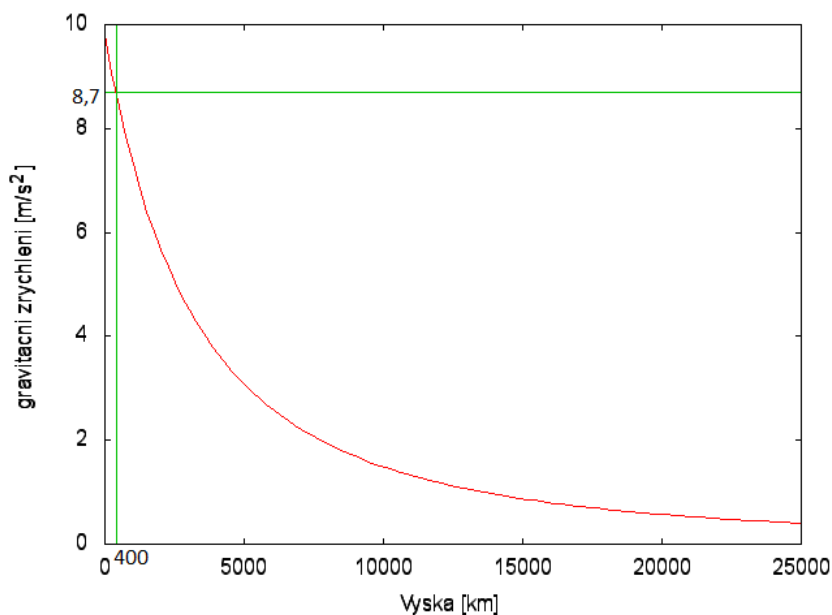
kde r je vzdálenost od středu Země. Intenzitu ve výšce $h = 400 \text{ km}$, lze tedy spočítat ze vztahu

$$K = \frac{GM_Z}{(R + h)^2},$$

Po dosazení hodnot

$$K = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24}}{[(6\,378 + 400) \cdot 10^3]^2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \doteq 8,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Ve výšce 400 km nabývá gravitační zrychlení hodnoty $8,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, což je $0,89 g$, kde g je tíhové zrychlení na povrchu Země ($g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Jak je z výsledků vidět, na astronauty na palubě ISS působí Země gravitační silou, ale díky působení setrvačné odstředivé síly vzniká v soustavě spojené se stanicí stav mikrogravitace. Na obrázku 5.3 je graf závislosti gravitačního zrychlení na výšce s vyznačenou hodnotou výšky ISS.



Obrázek 5.3: Závislost gravitačního zrychlení na výšce nad Zemí, vytvořeno v programu Gnuplot

5.3 Průmět trajektorie na povrch Země

Jakým způsobem a o kolik se posouvá průmět trajektorie ISS na zemský povrch z důvodu rotace Země?

Obrázek průmětu dráhy jednoho oběhu ISS na povrch Země byl prezentován v předchozí části textu (obrázek 4.3). Uvažujme soustavu spojenou se středem Země, tento bod oběhne ISS za dobu $T = 1,5$ h, za tuto dobu se povrch Země otočí na východ o úhel α . Tento úhel můžeme vypočítat pomocí přímé úměry, když uvážíme, že Země se otočí za 24 hodin o 360° (použijeme zjednodušení a nebudeme počítat s přesnou hodnotou tzv. hvězdného dne 23 h 56 min 4 s).

$$\begin{array}{l} 24 \text{ h} \quad \cdots \quad 360^\circ \\ 1,5 \text{ h} \quad \cdots \quad \alpha. \end{array}$$

Odkud hledaný úhel

$$\alpha = \frac{1,5}{24} \cdot 360^\circ = 22,5^\circ.$$

Každý oběh tak bude posunutý přibližně o $22,5^\circ$ západněji než předchozí. Jaké vzdálenosti to odpovídá, můžeme ze znalosti délky rovnoběžky a faktu, že každá rovnoběžka se za den otočí o 360° , spočítat opět pomocí přímé úměry. Pro délku rovnoběžky platí vztah

$$l = 2\pi R \cos \varphi,$$

kde R je rovníkový poloměr Země ($R = 6\,378$ km) a φ zeměpisná šířka.

$$\begin{array}{l} l \text{ km} \quad \cdots \quad 360^\circ \\ x \text{ km} \quad \cdots \quad 22,5^\circ. \end{array}$$

Odtud získáme vztah

$$x = \frac{22,5}{360} \cdot l,$$

který můžeme ještě upravit dosazením za l

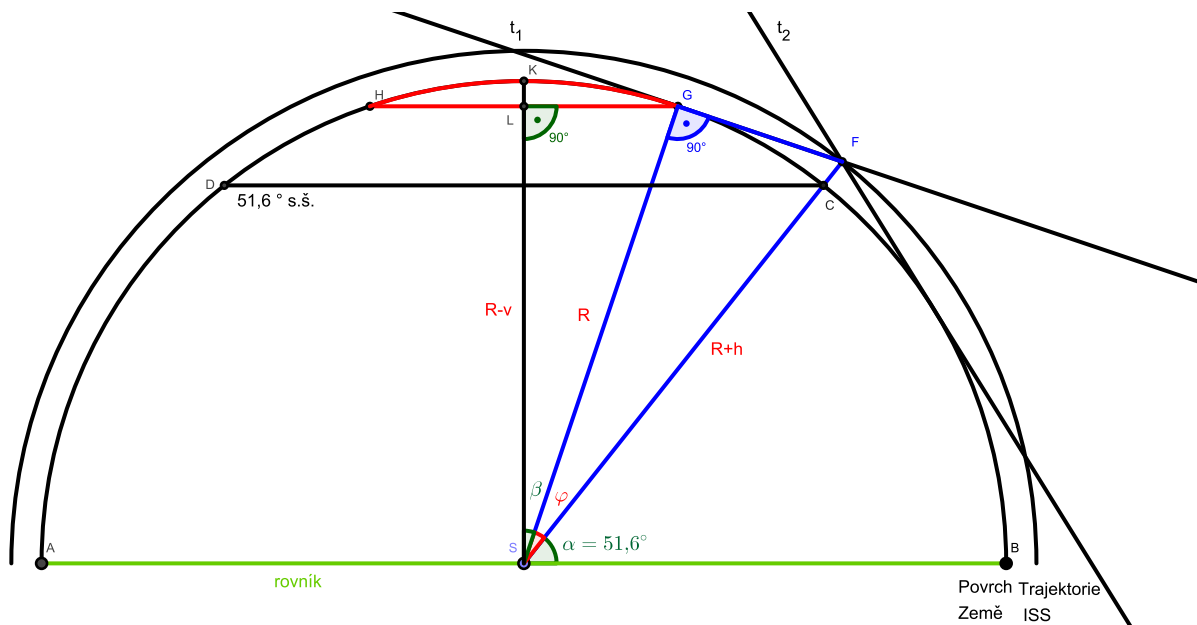
$$x = \frac{\pi R \cos \varphi}{8}.$$

Nyní můžeme určit o jakou vzdálenost se posune průmět ISS na zemský povrch pro různé zeměpisné šířky. Pro pozorovatele na rovníku tato vzdálenost odpovídá přibližně 2 500 km, pro pozorovatele v našich zeměpisných šířkách (50° s.š.) to odpovídá vzdálenosti přibližně 1 600 km.

5.4 Jakou část zemského povrchu není možno nikdy pozorovat z paluby ISS?

Mezinárodní vesmírná stanice se díky sklonu své oběžné dráhy pohybuje mezi rovnoběžkami $51,6^\circ$ s.š. a $51,6^\circ$ j.š. Protože se stanice nachází nad zemským povrchem, mohou astronauti nahlížet i za tuto pomyslnou hranici, přesto nebudou nikdy moci pozorovat určitou oblast kolem zemských pólů. Určete jakou část povrchu astronauti na ISS nikdy neuvidí. Poloměr Země je $R = 6378$ km a ISS se pohybuje po kruhové trajektorii ve výšce $h = 400$ km nad povrchem.

Určit jak velká tato oblast bude, znamená určit plochu kulových vrchlíků kolem světových pólů a porovnat ji s celkovou plochou zeměkoule. Znázorníme si situaci na severní polokouli na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4: Znázornění situace stanice na severní polokouli; vytvořeno pomocí programu GeoGebra

Vysvětlení významných bodů se kterými budeme nadále pracovat:

- C ... nejsevernější bod nad nímž ISS prolétá
- F ... pozice stanice nad nejsevernějším bodem trajektorie
- G ... nejsevernější viditelné místo ze stanice
průnik tečny vedené z F se zemským povrchem,
- K ... zemský severní pól
- L ... průnik zemské osy s rovinou rovnoběžnou s rovinou rovníku
a současně procházející bodem G
- S ... střed Země
- α ... sklon dráhy stanice vůči rovníku
- φ ... rozdíl úhlu rovnoběžky ještě viditelné
a rovnoběžky se současnou polohou stanice

Trajektorie stanice se díky vlastnímu pohybu a vlastní rotaci Země promítá na severní polokouli mezi body A, B, C, D , oblast mezi body D, C, G, H je pouze viditelná, ale trajektorie stanice už do těchto oblastí nezasahuje a červeně vyznačená oblast znázorněná na obrázku kruhovou výsečí H, G, K je kulový vrchlík, jehož plochu není

možné pozorovat. Plocha kulového vrchlíku se dá spočítat ze vzorce

$$S = 2\pi Rv,$$

kde R je poloměr původní koule a v je výška kulového vrchlíku.

Nejprve si spočítáme, jak daleko lze ze stanice dohlédnout, vypočteme tedy úhel φ . Z trojúhelníku SFG plyne

$$\varphi = \arccos \frac{R}{R+h},$$

Dosazením získáme hodnotu $\varphi \doteq 19,8^\circ$, to znamená, že astronauti nacházející se s ISS nad určitou rovnoběžkou vidí na rovnoběžku která je o $19,8^\circ$ severněji (i jižněji). V případě že se nacházejí nad bodem C , tak mohou vidět na rovnoběžku $\alpha + \varphi \doteq 51,6^\circ + 19,8^\circ \doteq 71,4^\circ$ s.š.

Vraťme se k našemu původnímu problému, tedy určení výšky vrchlíku. V našem případě je hledaná výška v rovna délce úsečky KL . Tuto vzdálenost můžeme určit tak, že si uvědomíme že délka úsečky KS je rovna poloměru Země R , potom pro vzdálenost LS platí $|LS| = R - v$. Tuto vzdálenost můžeme vypočítat z pravouhlého trojúhelníku SGL

$$R - v = R \cos \beta,$$

odkud si můžeme vyjádřit hledanou výšku

$$v = R - R \cos \beta.$$

Nyní potřebujeme určit úhel β . Pro úhel β z obrázku platí

$$\beta = 90^\circ - (\alpha + \varphi).$$

Již dříve jsme vypočítali hodnotu úhlu $\alpha + \varphi \doteq 71,4^\circ$. Po dosazení získáme hodnotu úhlu $\beta \doteq 18,6^\circ$. Dosazením hodnoty β do předchozího vztahu, můžeme určit výšku vrchlíku $v \doteq 333$ km, a následně i dopočítat povrch tohoto vrchlíku $S \doteq 13,3 \cdot 10^6$ km². Vypočítali jsme tak plochu, kterou nelze z ISS vidět, ale pouze na severní polokouli, celková plocha kterou nelze pozorovat bude dvojnásobná. Část povrchu, kterou nelze pozorovat lze tedy vyjádřit jako poměr ploch dvojnásobku dříve vypočtené plochy vrchlíku ku poměru povrchu zeměkoule.

$$\frac{2S}{S_Z} = \frac{2 \cdot 2\pi Rv}{4\pi R^2} = \frac{v}{R}.$$

Dosazením získáme hodnotu

$$\frac{v}{R} \doteq 0,052$$

Výsledkem je, že z ISS nelze nikdy pozorovat přibližně 5 % zemského povrchu.

5.5 Jak dlouho lze ISS přímo pozorovat?

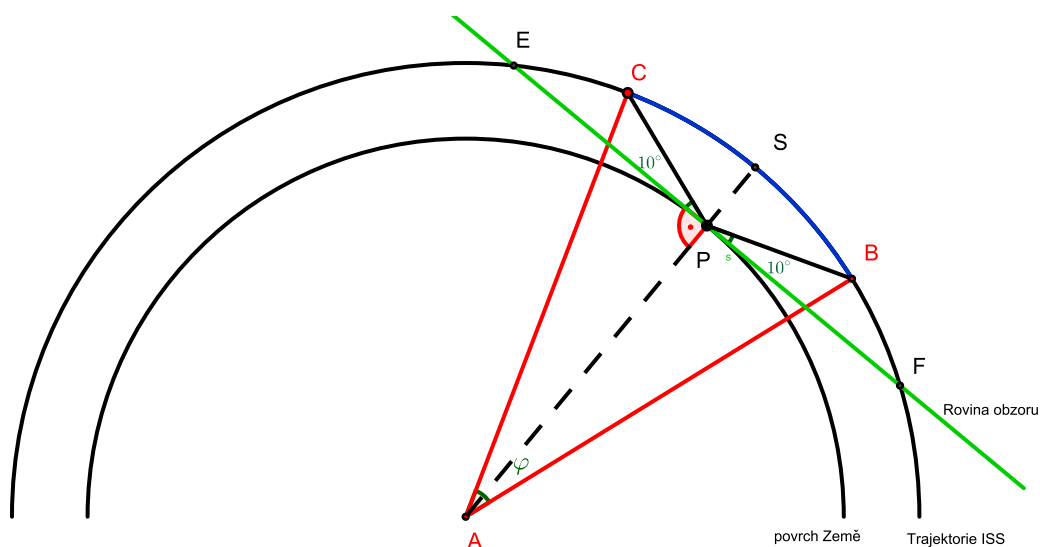
a) Jaká je nejdelší možná doba, po jakou je možno sledovat přelet ISS z jednoho místa na Zemi?

b) Jak dlouho je možné udržovat přímý rádiový kontakt se stanicí?

Předpokládejme, že ISS se pohybuje po kružnici ve výšce $h = 400$ km nad povrchem Země, poloměr Země je $R = 6\,378$ km, doba jednoho oběhu stanice $T = 90$ min, stanice je přímo viditelná, pokud se nachází alespoň 10° nad obzorem a přímý rádiový kontakt je možný v době, kdy se nachází nad obzorem.

Nejdelší doba v obou případech bude, pokud ISS bude prolétat přímo nad hlavou pozorovatele, tj. kolmo k rovině obzoru. Kvůli sklonu oběžné dráhy, tato situace může nastat pro zeměpisné šířky mezi $51,6^\circ$ s.š. a $51,6^\circ$ j.š. Ve všech ostatních případech budou obě tyto doby kratší.

a) Situaci si můžeme zakreslit, tak jak je naznačeno na obrázku 5.5.



Obrázek 5.5: Ilustrační obrázek přímé viditelnosti ISS; bez měřítka; vytvořeno pomocí programu GeoGebra

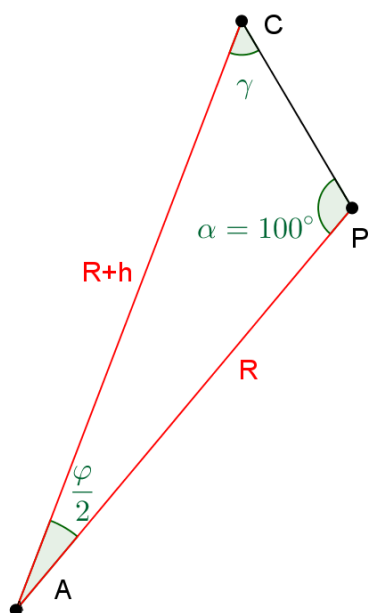
Pozorovatel stojí v bodě P na povrchu Země. Rovina obzoru je tečnou zeměkoule v bodě P . Stanice bude viditelná, pokud se bude nacházet 10° nad obzorem, tedy na oblouku kružnice mezi body B a C . Úhel BAC si označme φ . Protože předpokládáme, že se stanice pohybuje po kružnici a doba jejího oběhu se nemění, můžeme využít vztah pro rovnoměrný pohyb po kružnici

$$t = \frac{\varphi}{\omega}, \quad (5.2)$$

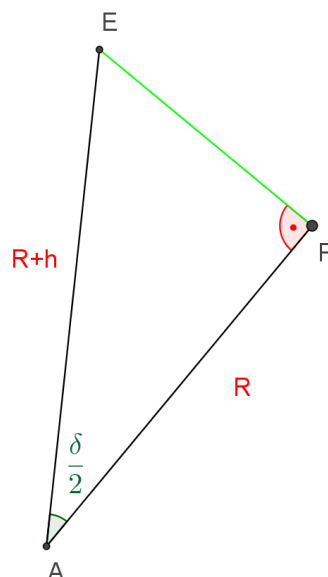
kde t je hledaný čas, φ je úhel v radiánech, který stanice opsala a ω je úhlová rychlost stanice. Úhlovou rychlost spočítáme jednoduše ze vztahu

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (5.3)$$

K výpočtu úhlu φ využijeme skutečnosti, že trojúhelníky APC a APB jsou shodné. Nejdříve určíme úhel $\varphi/2$. Využijeme k tomu trojúhelníku APC , situace je znázorněna na obrázku 5.6. Úhel α má velikost 100° , k pravému úhlu tečny, připočteme 10° , kdy je stanice nad obzorem. Při výpočtu užijeme sinové věty, protože ale neznáme vzdálenost



Obrázek 5.6: Nákres situace a)



Obrázek 5.7: Nákres situace b)

bodů C a P vypočítáme velikost úhlu označeného na obrázku 5.6 jako γ . Poté velikost úhlu $\varphi/2$ dopočítáme jako doplněk úhlů α a γ do 180° .

$$\frac{\sin 100^\circ}{R+h} = \frac{\sin \gamma}{R},$$

odkud získáme velikost úhlu γ .

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{R}{R+h} \cdot \sin 100^\circ\right)$$

Poté už snadno spočítáme úhel $\varphi/2$ a úhel φ

$$\begin{aligned} \frac{\varphi}{2} &= 180^\circ - 100^\circ - \gamma, \\ \varphi &= 2 \cdot \frac{\varphi}{2}. \end{aligned}$$

Pro převod mezi stupni a radiány, platí následující vztah

$$\{\varphi\}\text{rad} = \frac{2\pi}{360}\{\varphi\}^\circ. \quad (5.4)$$

Po dosazení číselných hodnot, dostaneme po zaokrouhlení $\omega \doteq 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $\gamma \doteq 67,92^\circ$ $\varphi \doteq 24,15^\circ \doteq 0,42 \text{ rad}$ a čas po který bude stanice viditelná $t \doteq 362 \text{ s}$.

Výpočtem jsme zjistili, že při nejvýhodnější trajektorii vůči pozorovateli, je nejdelší možná doba po kterou je možno ISS sledovat přibližně 6 minut.

b) Situace je velmi podobná jako v předchozím případě, i tentokrát můžeme využít obrázku 5.5. Nyní nás zajímá oblouk mezi body E a F , hledáme tak velikost úhlu EAF , který si pro potřeby výpočtu označíme δ . Opět využijeme toho, že trojúhelníky EAP a FAP jsou shodné a spočítáme $\delta/2$ z trojúhelníku EAP . Nákres situace je na obrázku 5.7. Protože se jedná o trojúhelník pravoúhlý, tak platí

$$\cos\left(\frac{\delta}{2}\right) = \frac{R}{R+h},$$

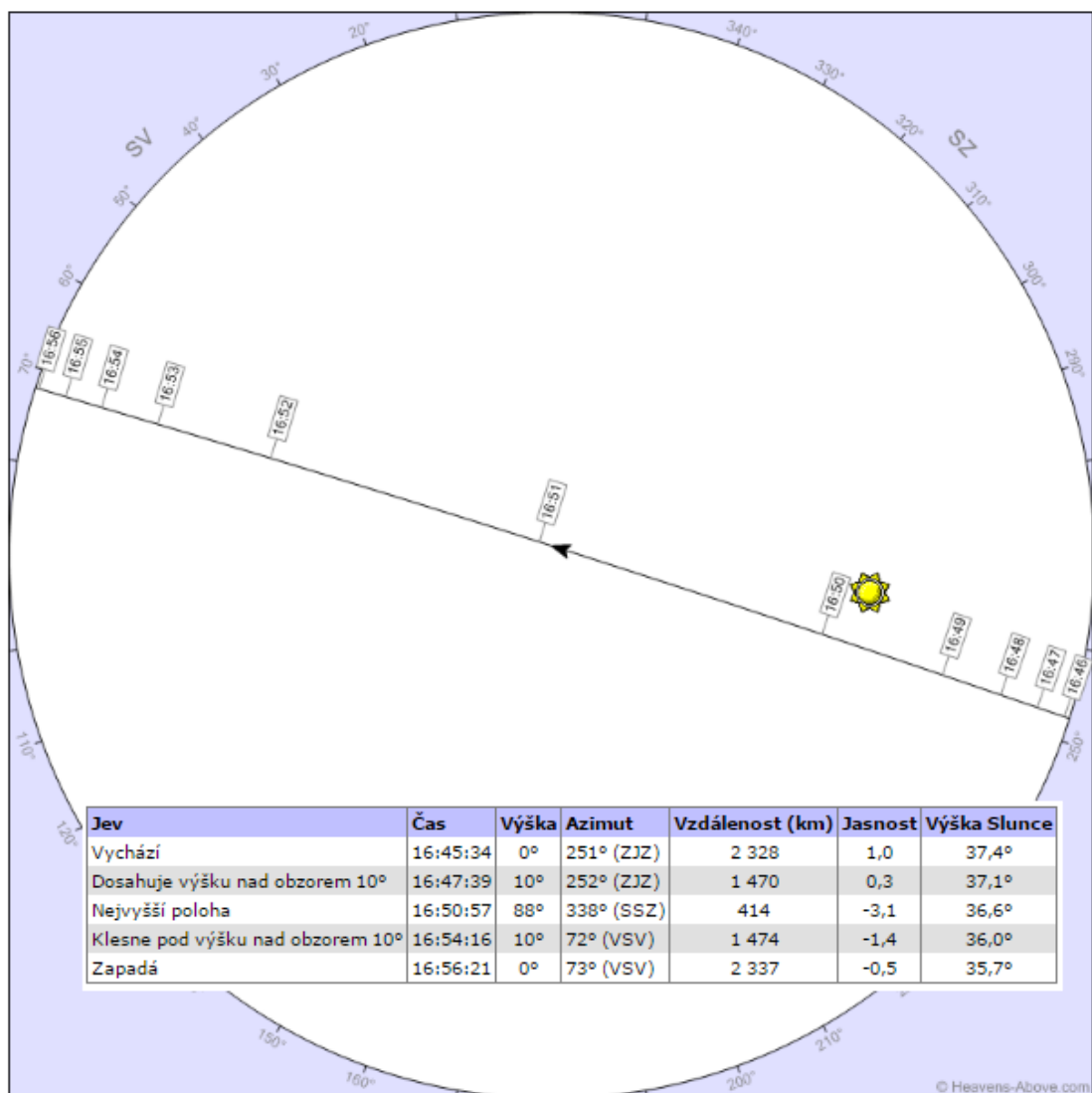
odkud můžeme rovnou vyjádřit hledaný úhel δ

$$\delta = 2 \arccos \left(\frac{R}{R+h} \right).$$

Hodnotu úhlu δ můžeme v tomto případě vypočítat přímo v radiánech, případně ve stupních a převést na radiány pomocí vztahu 5.4. Čas po který bude možné komunikovat s ISS přímo, pak vypočítáme stejně jako v minulém případě pomocí vztahů 5.2 a 5.3, kde místo φ dosadíme δ . Takto získané přibližné hodnoty jsou $\delta \doteq 39,6^\circ \doteq 0,69$ rad a hledaný čas $t \doteq 595$ s.

Zjistili jsme tak, že udržovat přímý rádiový kontakt je možné po dobu necelých deseti minut.

Výsledky v obou případech můžeme porovnat s daty skutečného přeletu blízko nadhlavníku na obrázku 5.8, který se uskutečnil 10.června 2017. Zjistíme, že získané časy řádově poměrně dobře souhlasí s parametry přeletu, rozdíly ve výsledcích jsou způsobeny zaokrouhlováním a zjednodušením, např. zanedbáním otáčení Země.



Obrázek 5.8: Přelet ISS blízko nadhlavníku, zdroj [19]

5.6 Dopplerův jev při komunikaci s ISS

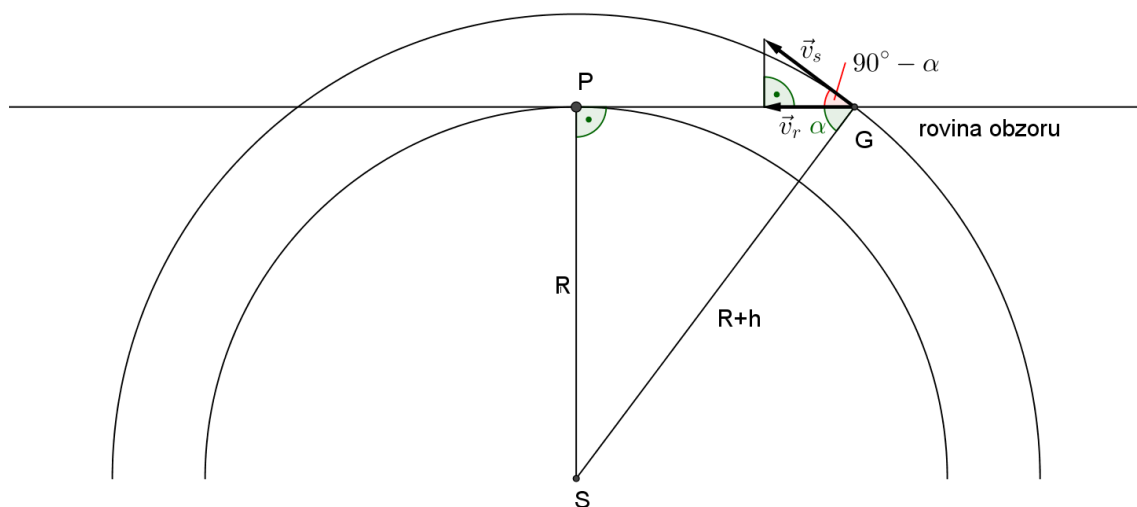
V jakém rozsahu frekvencí probíhá radiokomunikace mezi pozorovatelem na povrchu Země a astronautem na ISS v době, kdy je ISS nad obzorem? Základní frekvence, na které komunikace probíhá, je $f_0 = 145$ MHz, rychlost stanice vůči středu Země je přibližně $v_s = 7700$ m · s⁻¹, komunikace se uskutečňuje pomocí rádiových vln, které se šíří rychlostí světla $c = 3 \cdot 10^8$ m · s⁻¹, poloměr Země $R = 6378$ km a výška ISS nad povrchem $h = 400$ km. Předpokládejme kruhovou trajektorii ISS.

Při vzájemném pohybu vysílače a přijmače signálu se mění frekvence s jakou je signál přijímán. Jestliže se zdroj a přijmač navzájem přibližují, je přijmaná frekvence vyšší, jestliže se od sebe vzdalují, je přijmaná frekvence nižší. Tato změna je označována jako Dopplerův jev nebo také Dopplerův efekt.

Pohybuje-li se ISS (zdroj) směrem k pozorovateli (přijmač) a pozorovatel stojí v klidu, poté lze vypočítat frekvenci f s jakou je signál přijímán jako

$$f = \frac{f_0}{1 - \frac{v_r}{c}}, \quad (5.5)$$

kde v_r je průmět relativní rychlosti do spojnice zdroje a pozorovatele [9]. Protože se ISS pohybuje po kružnici, je průmět této relativní rychlosti největší v době, kdy se ISS vynořuje nad obzor, nebo napak zapadá pod obzor, a roven nule právě když prolétá nad pozorovatelem. Situace je znázorněna na obrázku 5.9.



Obrázek 5.9: Ilustrační obrázek vzájemné rychlosti stanice a pozorovatele; bez zachování měřítky; vytvořeno pomocí programu GeoGebra

Velikost v_r lze spočítat jako

$$v_r = v_s \cos(90^\circ - \alpha), \quad (5.6)$$

kde pro úhel α v této situaci platí

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{R}{R+h}\right). \quad (5.7)$$

Dosažením hodnot do vztahů 5.6 a 5.7 získáme velikost průmětu relativní rychlosti při protnutí roviny obzoru

$$v_r \doteq 7\,246 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

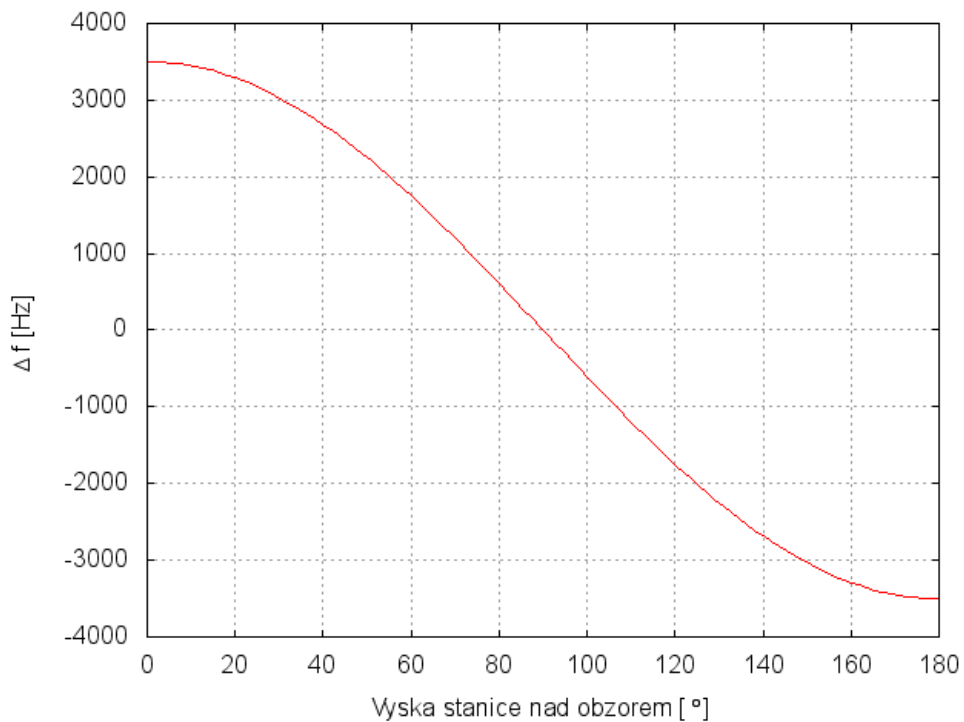
která je kladná v případě, že se ISS přibližuje a záporná když se vzdaluje. Tyto hodnoty můžeme dosadit do vztahu 5.5, odkud získáme pro novou frekvenci hodnotu $f \doteq 145\,003,5 \text{ kHz}$ v případě, že se ISS vynořuje nad obzor (tj. přibližuje se k pozorovateli), případně $f \doteq 144\,996,5 \text{ kHz}$, když zapadá pod obzor. Označíme-li si rozdíl vysílané a přijímané frekvence jako Δf , pak platí že $\Delta f = f - f_0 \doteq \pm 3,5 \text{ kHz}$.

Radiostanice tedy musí být schopna vysílat a přijímat v intervalu frekvencí

$$\langle 144\,996,5; 145\,003,5 \rangle \text{ kHz}.$$

Tento výsledek však zanedbává vlastní pohyb pozorovatele na otáčející se zeměkouli. Rychlost pozorovatele závisí na zeměpisné šířce, ale i na konkrétních parametrech přeletu a její maximální hodnota je $464 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, je tak mnohem menší než rychlost ISS.

Na obrázku 5.10 je znázorněn graf dopplerovského posunu v závislosti na výšce stanice nad obzorem. Z grafu je dobře patrné, že dopplerovský posun je nulový (pozorovatel přijímá na stejné frekvenci s jakou je signál vysílán), právě když je ISS v nadhlavníku (tj. přímo nad pozorovatelem).



Obrázek 5.10: Posun frekvence v závislosti na výšce při kolmém přeletu, vytvořeno v programu Gnuplot

Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření materiálu vhodného pro výuku na střední škole, případně využitelného v zájmových kroužcích a seminářích, který by čtenáře seznámil s projektem Mezinárodní vesmírné stanice a především fyzikálními experimenty prováděnými na stanici i fyzikálními úlohami spojenými se stanicí a jejím pohybem.

V úvodní části práce byl čtenář seznámen se základními fakty o ISS, s důvody jejího vzniku a její stručnou historií. V další kapitole byl krátce popsán výcvik astronautů ESA, který předchází vlastní misi na ISS, dále některé zajímavosti se kterými se musí posádka na stanici při svém pobytu vypořádat. Součástí kapitoly je také představení některých částí ISS a ukázka z denního rozvrhu posádky. Následuje kapitola, která čtenáře seznamuje s fyzikálními experimenty prováděnými na ISS. V této části jsou shrnuty a stručně vysvětleny nejdůležitější vlastnosti experimentů, které jsou realizovány na oběžné dráze. Součástí je stručný popis několik experimentů z různých fyzikálních oborů, včetně očekávaných výsledků z těchto experimentů, případně možnosti dalšího směřování výzkumu a využití získaných poznatků.

Hlavní část práce se zabývá vlastním řešením některých fyzikálních aspektů ISS. Tato kapitola měla ukázat, že lze některé otázky týkající se ISS celkem přesně vyřešit i s pomocí středoškolské fyziky. Zahrnuto je šest řešených příkladů, např. výpočet rychlosti a doby oběhu ISS pomocí Keplerových zákonů a kruhové trajektorie, určení Dopplerova posuvu při komunikaci, nebo odhad doby po jakou je ISS přímo pozorovatelná. Všechny příklady jsou řešeny postupy známými či po krátkém studiu pochopitelnými studentům středních škol.

Problematika kosmického výzkumu je zajímavá a skrývá v sobě možnosti objevit dosud nepoznané, čímž může motivovat studenty pro další studium v této oblasti. Jejím začleněním do výuky, lze výuku obohatit o aplikaci poznatků získaných v základním učivu. Studenti si díky propojení teorie a možnosti využití v praxi látku lépe zapamatují a budou schopni problematiku dále rozvíjet. Za významný krok k popularizaci kosmického výzkumu lze považovat uskutečněný rádiový kontakt se stanicí.

Projekt Mezinárodní vesmírné stanice je velmi obsáhlý a v rámci bakalářské práce jej nelze popsat v celé šíři. Pro zájemce o detailnější informace lze doporučit publikace vydané NASA např. [7, 10, 25], které se zabývají postupně částicovou fyzikou, kosmickým prostředím a obecnými informacemi o ISS a z kterých jsem také čerpal. Dále bych doporučil stránky zúčastněných kosmických agentur, zejména ESA a NASA. Zájemcům z řad české veřejnosti bych doporučil knihu [16], která sice vyšla již v roce 2009, přesto ale obsahuje spoustu zajímavých doplňujících informací a ilustrací.

Použité zdroje a další zajímavé odkazy

- [1] *A timeline of ISS mission. Russianspaceweb* [online]. [cit. 2017-07-27]. Dostupné z: http://www.russianspaceweb.com/iss_chronology_flights.html.
- [2] *About The Alpha Magnetic Spectrometer*. [online]. [cit. 2017-07-18]. Dostupné z: <https://ams.nasa.gov/about.html>.
- [3] *AMS-02: The Alpha Magnetic Spectrometer Experiment* [online]. 2017 [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <http://www.ams02.org>.
- [4] *ARISS: About ARISS* [online]. [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <http://www.ariss.org/about.html>.
- [5] *BEAM Facts and Figures: Learn of the Module Launching on SpaceX Dragon* [online]. 2016 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/beam_infographic.
- [6] *EEA:Exp.7354. Spaceflight.esa.int: Erasmus Experiment Archive* [online]. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://eea.spaceflight.esa.int/portal/exp/?id=7354>.
- [7] FINCKENOR, Miria M. a Kim K. DE GROH. *International Space Station Researcher-s Guide: Space environment mini book* [online]. Nasa ISS Program Science Office [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/NP-2015-03-015-JSC_Space_Environment-ISS-Mini-Book-2015-508.pdf.
- [8] *ESA—5.díl—Evropští astronauti. Kosmonautix.cz* [online]. 2013 [cit. 2017-07-11]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2013/05/esa-5-dil-evropsti-astronauti/>.
- [9] *Frekvence a doba příchodu signálu z kosmických sond kosmických sond* [online]. [cit. 2017-07-18]. Dostupné z: http://black-hole.cz/cental/wp-content/uploads/2010/11/03_doppler.pdf.
- [10] HAHN, Inseob, Nan YU, Ulf ISRAELSSON a John GOREE. *A Researcher's Guide to: Internation Space Station: Fundamental Physics* [online]. NASA ISS Program Science Office, 2015 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-04-021-jsc_fundamental_physics-iss-mini-book-508.pdf.
- [11] *History of the ISS project. JAXA* [online]. [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: http://iss.jaxa.jp/iss/history/index_e.html.

- [12] CHAO, David F., Robert D. GREEN, John B. MCQUILLEN, William V. MEYER a Brian J. MOTIL. *A Researcher's Guide to: International Space Station: Fluid Physics* [online]. NASA ISS Program Science Office, 2015 [cit. 2017-07-18]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-10-033-jsc_fluid_physics-022416-508c_1.pdf.
- [13] *International Space Station: Benefits for Humanity* [online]. 2. vydání 2015 [cit. 2017-07-05]. ISBN NP-2015-01-001-JSC. Dostupné z: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/benefits-for-humanity_tagged.pdf.
- [14] *ISS Facts!*. NASA [online]. [cit. 2017-07-18]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/iss-facts>.
- [15] *ISS Tracker Real-Time Location Tracking of the International Space Station* [online]. [cit. 2017-06-09] Dostupné z: <http://www.isstracker.com>.
- [16] KUBALA, Petr. *ISS - Mezinárodní vesmírná stanice: [International Space Station: průvodce technologiemi a životem na největší vesmírné stavbě lidstva]*. Vyd. 1. Kralice na Hané: Computer Media, 2009, 112 s. ISBN 978-80-7402-033-9.
- [17] MATUSSEK, Dirk Matussek. Current position of the ISS. *Astroviewer* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://iss.astroviewer.net>.
- [18] MIKULČÁK, Jiří. a kolektiv *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988.
- [19] *Mezinárodní vesmírná stanice (ISS)-Viditelné přelety. Heavens-Above*. [online]. [cit. 2017-06-09] Dostupné z: <http://www.heavens-above.com/PassSummary.aspx?satid=25544>.
- [20] *NASA Astronaut Peggy Whitson Adds Time to Record-Breaking Mission*. NASA [online]. 2017 [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-astronaut-peggy-whitson-adds-three-months-to-record-breaking-mission>.
- [21] *One-Year Mission*. NASA [online]. 2017 [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/1ym/about>.
- [22] *Peggy A. Whitson (PH.D.) NASA Astronaut*. NASA [online]. [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/astonauts/biographies/peggy-a-whitson/biography>.
- [23] *Rádiová komunikace s ISS*. [online]. [cit. 2017-06-20] Dostupné z: <http://exfyz.upol.cz/didaktika/iss/>.
- [24] *Reference guide to the International Space Station* [online]. Assembly complete ed. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 2010 [cit. 2017-07-08]. ISBN 01-608-6517-4. Dostupné z: https://www.nasa.gov/pdf/508318main_ISS_ref_guide_nov2010.pdf.
- [25] *Reference guide to the International Space Station* [online]. Utilization edition. National Aeronautics and Space Administration, 2015 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/np-2015-05-022-jsc-iss-guide-2015-update-111015-508c.pdf>.

- [26] *Spaceflight now: NASA, Roscosmos open to extending station operations to 2028* [online]. 2017 [cit. 2017-06-26]. Dostupné z: <https://spaceflightnow.com/2017/04/08/nasa-roskosmos-weight-extending-station-operations-to-2028/>.
- [27] SVOBODA, Emanuel, Milan BEDNAŘÍK a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia*. 5., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2013. ISBN 978-80-7196-431-5.
- [28] ŠEDIVÝ, Přemysl a Ivo VOLF. *Pohyb tělesa po eliptické trajektorii v radiálním gravitačním poli. Studijní texty knihovničky Fyzikální olympiády* [online]. MAFY Hradec Králové [cit. 2017-06-29]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/druzice.pdf>.
- [29] Twins Study. *NASA* [online]. 2017 [cit. 2017-07-16]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/twins-study/about>.
- [30] *Výška ISS. Heavens-Above*. [online]. [cit. 2016-09-12] Dostupné z: <http://www.heavens-above.com/IssHeight.aspx>.
- [31] *What Is the International Space Station? NASA* [online]. 2015 [cit. 2017-07-24]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-is-the-iss-k4.html>.
- [32] *Život ve vesmíru: ESA: Lessons online: Human Spaceflight* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Lessons_online/Zivot_ve_vesmiru.