

Odysseus Contest



Radioaktivita na Marsu

Leden 2016

Vypracovali: Vít Janda, Jan Říha

Prohlašujeme, že jsme tuto práci vypracovali samostatně s použitím informačních zdrojů uvedených v příloženém seznamu.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Teoretická část | 1 |
| 1.1 Magnetické pole Marsu | 1 |
| 1.2 Záření ve vesmíru | 2 |
| 1.2.1 Záření α | 2 |
| 1.2.2 Záření β | 3 |
| 1.2.3 Záření γ | 4 |
| 1.2.4 Mikrovlnné záření | 5 |
| 1.2.5 Infračervené záření | 6 |
| 1.2.6 Ultrafialové záření | 6 |
| 1.2.7 Rentgenové záření | 8 |
| 1.2.8 Sluneční vítr | 9 |
| 1.3 Radiace na Marsu | 10 |
| 1.4 Ochrana proti vesmírné radiaci na Zemi | 11 |
| 1.5 Ochrana proti vesmírné radiaci na Marsu | 12 |
| 2. Praktická část | 13 |
| 2.1 Program Dopadajici_zareni_Mars_Odysseus..... | 13 |
| 2.1.1 Programovací jazyk a vývojové prostředí | 13 |
| 2.1.2 O programu | 14 |
| 2.1.3 Tvorba programu | 16 |
| 2.1.4 Budoucnost programu..... | 18 |
| 3. Diskuze | 19 |
| 4. Závěr | 20 |
| 5. Seznam informačních zdrojů | 21 |

1. Teoretická část

V teoretické části se budeme zabývat problematikou záření pocházejícího z vesmíru a jeho účinky na člověka, radiací na Marsu, která hraje důležitou roli při možném budoucím pobytu astronautů právě na této planetě, a možnou ochranou před ní.

1. 1 Magnetické pole Marsu

Mars má železné jádro, které bylo v minulosti tekuté. Toto rotující roztavené jádro vytvářelo obrovské magnetické pole. Pole pak formovalo vnější obal obklopující Mars jako ochranný štít, který blokoval nebezpečné emise ze Slunce. Železné jádro potom ale nebylo schopné nadále vytvářet magnetické pole a Mars tak o něj a o většinu své atmosféry přišel.¹ Mars však o své magnetické pole nepřišel úplně, jeho funkčnost je ale nesčetněkrát menší než u země – vnitřní magnetické pole má 10 000 krát menší.² To platí i pro jeho atmosféru, která vytváří na povrchu Marsu průměrný tlak okolo 6 milibarů, což je méně než jedno procento atmosférického tlaku na Zemi.³ Atmosféra je velmi řídká a z 95 % je tvořena oxidem uhličitým.⁴ Slabé magnetické pole umožňuje pronikání slunečního větru do atmosféry, kde vytváří ionosféru, která střídavě vytváří indukované magnetické pole.

¹ https://www.youtube.com/watch?v=_5hpzvLlpnY&list=PLIYQQfHRm4P63PLjOB7ldwHHZAoV3BFi_&index=3 10. 1. 2016.

² <http://astronomia.zcu.cz/planety/mars/1134-atmosfera> 18. 7. 2015.

³ Dinwiddie R., Hughes D., Stott C.: Vesmír, Euromedia Group k. s., Praha 2006, str. 161.

⁴ 1001 otázek a odpovědí na vše kolem nás. Praha: Euromedia Group k.s, Knižní Klub, Balios, 1999, str. 147.

1.2 Záření ve vesmíru

1.2.1 Záření ^α

Jako záření alfa se označuje proud ^α částic. Alfa částici představuje jádro helia-4, tudíž atom helia-4, z něhož byl odstraněn elektronový obal. ⁵ Jádro helia-4 je ovšem název pro určitou prostorovou konfiguraci dvou protonů a neutronů, která má určité vlastnosti.⁶ Alfa částici tedy tvoří dva protony a dva neutrony, díky nimž je částice kladně nabitá s elektrickým nábojem +2e. Alfa částice se pohybují pomalu a mají malou pronikavost, ostatně alfa záření je nejslabší druh jaderného záření. Zato má silné ionizační účinky na okolí.

Z hlediska působení na člověka se záření dělí na dva typy: vnější a vnitřní. Vnější záření pohlcují kožní buňky, můžeme ho tedy považovat za neškodné. Kdybychom chtěli zabránit styku záření s kůží, postačí nám list papíru. U astronautů pobývajících na Marsu by se o ochranu před tímto zářením měl postarat jejich skafandr.

Vnitřním zářením se rozumí působení na kůži nekryté části organismu, zejména na plíce. Zde může záření poškodit strukturu DNA. Buňka se poté může začít nekontrolovatelně dělit, což pak vede ke vzniku rakoviny.⁴

Velice silný zdroj alfa záření je radon, který se často vyskytuje v domech. Na ozáření žijícího člověka se během života podílí téměř z poloviny.⁷ Nás ale zajímá výskyt alfa záření, resp. radonu na Marsu. V podloží Marsu se nachází uran, jehož rozpadem vzniká právě radon. Radon „vystřelený“ po rozpadu uranu může při cestě k povrchu narazit na vodu nebo led a tím se jeho rychlost zpomalí. Bez dostatku energie se pak radon namísto uvíznutí pod povrchem difunduje, neboli proniká na povrch. Díky nízkému atmosférickému tlaku, který na Marsu působí, se radon může dostat až do výšky 20 m. I když je alfa záření velmi slabé, musíme brát v potaz vysokou koncentraci radonu nad povrchem. Mimo jiné můžeme pomocí

⁵ https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8C%C3%A1stice_alfa 18. 7. 2015.

⁶ <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/803-zareni-alfa> 19. 7. 2015.

⁷ DUFKOVÁ, Marie. *Radioaktivita, radionuklidy, ionizující záření, dávky, jednotky, účinky, ochrana* [online]. 2003 [cit. 2015-07-29]. Dostupné z: <http://www.fyzweb.cz/materialy/fukusima/radioaktivita.ppt>. Prezentace.

detektorů alfa částic, které nejsou náročné na hmotnost a na spotřebu, detekovat emise z podzemních rezerv a nalézat tak nové zdroje vody či ledu.⁸

1.2.2 Záření β

Jako záření beta se označuje proud částic β prostorem.⁹ Experimenty a teorie dělí existenci beta záření na dva druhy: β^- a β^+ .

Záření β^- tvoří rychle letící elektrony, které vznikají v jádře během rozpadu neutronu. Spolu s elektrony vylétá z neutronu také elektronové antineutrino, což je antičástice k neutrinu.

Záření β^+ tvoří kladně nabitě pozitrony (pozitron je antičástice elektronu), které vznikají v jádře rozpadem protonu. Spolu s pozitrony vylétá z protonu také elektronové neutrino.¹⁰

Neutrino je jednou ze základních částic, které dohromady tvoří vesmír. Od elektronu se neutrino liší tím, že nenesí elektrický náboj. Díky tomu na něj nepůsobí elektromagnetické síly a neutrina jsou tak schopné projít velkou vzdáleností v látce, aniž by na ně látka působila.¹¹

Beta částice hrály důležitou roli v nukleosyntéze velkého třesku, tj. při vzniku atomových jader během raných fází vesmíru. Díky nukleosyntéze vznikly stabilní jádra deuteria H-2/D, helia He-3 a He-4 a lithia Li-6 a Li-7 a nestabilní jádra tritia H-3 a beryllia Be-7 a Be-8. Nestabilní jádra se poté buďto rozpadla nebo splynula s jinými stabilními jádry.¹²

Ozáření člověka beta částicemi může způsobovat akutní i chronické účinky na zdraví. Častější jsou ale chronické účinky, které se vyvíjejí například 5-30 let. Hlavní chronický účinek na zdraví z ozáření je rakovina. Logicky se zvyšující se dávkou ozáření se zvyšuje riziko rakoviny.¹³ K odstínění záření beta postačí lehké

⁸ <https://www.newscientist.com/article/dn3968-radon-leaks-could-reveal-water-on-mars/> 18. 7. 2015.

⁹ https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1ření_beta 19. 7. 2015.

¹⁰ <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/804-zareni-beta> 19. 7. 2015.

¹¹ <http://www.ps.uci.edu/~superk/neutrino.html> 19. 7. 2015.

¹² [https://sk.wikipedia.org/wiki/Nukleosynt%C3%A9za_\(kozmol%C3%B3gia\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Nukleosynt%C3%A9za_(kozmol%C3%B3gia)) 19. 7. 2015.

¹³ <http://www.epa.gov/radiation/understand/beta.html#affecthealth> 19. 7. 2015.

materiály tloušťky okolo 5-10 mm, tudíž pro astronauty by se o toto měl opět postarat jejich skafandr.¹⁴

1.2.3 Záření γ

Gama záření je nejenergetičtější elektromagnetické záření, které vzniká při katastrofických a bouřlivých vesmírných událostech.¹⁵ Vznik gama záření souvisí s alfa a beta radioaktivními přeměnami. Po radioaktivní přeměně (alfa i beta) vznikne dceřiné jádro, které je v excitovaném stavu.¹⁶ Pokud je jádro v excitovaném stavu, jsou jeho elektrony v elektronovém obalu přeneseny do vyšších energetických hladin, než je normální stav. Elektron přechází na zlomek sekundy na vyšší energetickou hodnotu¹⁷, poté se při deexcitaci¹⁵ vrátí do základního stavu a uvolní energii ve formě elektromagnetického záření.¹⁶ Toto záření se nazývá záření gama.¹⁵

Fotony gama záření mají vysokou energii, intenzivnější záření pak dokáže velmi efektivně ničit živou hmotu. Před gama zářením nás chrání atmosféra, pokud by ale v blízkosti Země nastal gama záblesk, což je jev, při kterém se uvolní nesmírné množství energie ve formě gama záření, nezachránila by nás ani atmosféra. Obrovská dávka velmi intenzivního záření by zničila pozemský život.¹⁸

Na Marsu nebudeme chráněni atmosférou (nebo lépe řečeno budeme, ale slabě) a musíme se tak chránit před jakýmkoliv druhem tohoto záření. Stejně jako záření alfa a záření beta se záření gama řadí mezi ionizující záření a to díky schopnosti uvolňování elektronů z elektronových obalů v ozářené látce při jejím ozařování.¹⁹ Ionizující záření obecně přispívá k výskytu rakoviny.²⁰

¹⁴ <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#2> 19. 7. 2015.

¹⁵ Dinwiddie R.: Vesmír, Euromedia Group k. s., Praha 2006, str. 35.

¹⁶ <http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm> 19. 7. 2015.

¹⁷ https://cs.wikipedia.org/wiki/Excitovan%C3%BD_stav 19. 7. 2015.

¹⁸ https://cs.wikipedia.org/wiki/Gama_z%C3%A1blesk 20. 7. 2015.

¹⁹

http://www.wikiskripta.eu/index.php/Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_gama_v_medic%C3%ADn%C4%9B#P.C5.AFsoben.C3.AD_gama_z.C3.A1.C5.99en.C3.AD_na_organismus 20. 7. 2015.

²⁰

http://www.wikiskripta.eu/index.php/P%C5%AFsoben%C3%AD_ionizuj%C3%ADc%C3%ADho_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_na_organismus 20. 7. 2015.

Záření gama má vysokou pronikavost prostředím, i tak se před ním ale dá bezpečně chránit. Nejvhodnější materiály ke snížení intenzity či k úplné absorpci záření jsou materiály s vysokým protonovým číslem a vysokou hustotou. Mezi tyto nejčastěji používané materiály se řadí olovo, beton, magnetit, ocel, wolfram a baryt. Hodnota polotloušťky, což je hodnota, která určuje tloušťku materiálu, ve kterém se absorbuje 50% záření, je u olova 1 cm a u betonu 6 cm.²¹ Astronauty pracující na Marsu už tak nebude před tímto zářením moci ochránit samotný skafandr.

1.2.4 Mikrovlnné záření

Mikrovlny, které tvoří mikrovlnné záření, jsou elektromagnetické vlny o frekvenci 300MHz-300GHz.²² Mikrovlnné záření je nejstarší záření ve vesmíru, které bylo uvolněno „pouhých“ 380 000 let po Velkém třesku.²³ V současné době tvoří podstatnou část mikrovlnného záření z vesmíru právě toto fosilní záření z raného období vesmíru.²⁴

Mikrovlny patří spolu s dalším elektromagnetickým zářením, jako je například ultrafialové a infračervené záření, do skupiny neionizujícího záření. Tato neionizující záření mají na člověka podobné účinky. Ty u lidí vyvolávají neuropsychické potíže nespecifického charakteru, na které bývají ženy citlivější než muži. Samotné mikrovlny jsou ale díky svojí frekvenci plně absorbovány kůží.²⁵

V souvislosti s ochranou před celým elektromagnetickým zářením bychom v případě, že se budou astronauti po povrchu Marsu pohybovat pomocí nějakého vozítka, volili opatřit toto vozítko Faradayovou klecí. Ta funguje na principu

²¹

http://www.wikiskripta.eu/index.php/St%C3%ADn%C4%9Bn%C3%AD_a_ochrana_p%C5%99ed_gama_z%C3%A1%C5%99en%C3%ADm 20. 7. 2015.

²² <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrovlny> 20. 7. 2015.

²³ Dinwiddie R.: Vesmír, Euromedia Group k. s., Praha 2006, str. 34.

²⁴ http://www.wikina.cz/a/Mikrovl%C3%A9n%C3%A1_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 20. 7. 2015.

²⁵ http://www.wikiskripta.eu/index.php/Neionizuj%C3%ADc%C3%AD_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 20. 7. 2015.

soustředění elektrického náboje pouze na povrchu vodiče, nikoli v jeho objemu.²⁶ Samotné mikrovlny se dají pohltnout vodou či kovem, kde se přeměňují na teplo.²⁷

1.2.5 Infračervené záření

Infračervené záření je elektromagnetické záření, jehož vlnová délka je větší než u viditelného světla, ale menší než u mikrovlnného záření. Infračervené záření vyzařují všechna tělesa včetně lidského těla. Záření vycházející z našeho těla je však na větších vlnových délkách než záření vycházející ze Slunce. Při pohlcování infračerveného záření kůží probíhá tepelná výměna, která způsobuje pocit tepla a pálení.²⁸ ²⁹ Nejvýraznějším přímým účinkem infračerveného záření jsou spáleniny. K těm prakticky nedochází, neboť bolest v místě ohřátí tkáně vede k úhybné reakci.²⁷

1.2.6 Ultrafialové záření

Ultrafialové záření je elektromagnetické záření s vlnovými délkami kratšími než má viditelné světlo.³⁰ Toto záření vychází z horkých zdrojů, například bílých trpaslíků, neutronových hvězd a Seyfertových galaxií.³¹ Přírodním zdrojem ultrafialového záření je i Slunce.³²

Ultrafialové záření se dá rozdělit podle účinků na člověka na určitých místech. Nadměrná expozice (dávka záření) vyvolává některé typické projevy jako například

²⁶ https://cs.wikipedia.org/wiki/Faradayova_klec 20. 7. 2015.

²⁷

http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f6d61676e657469636be920766c6e79h&key=522 20. 7. 2015.

²⁸

http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f6d61676e657469636be920766c6e79h&key=690 20. 7. 2015.

²⁹ STUPŇÁNKOVÁ, Magda. *Infračervené záření v současnosti* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-07-29]. Dostupné z: is.muni.cz/th/214917/lf_b/IR_zareni_v_soucasnosti.doc. Bakalářská práce. Vedoucí práce MUDr. Věra Maryšková.

³⁰ <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni> 21. 7. 2015.

³¹ Dinwiddie R.: Vesmír, Euromedia Group k. s., Praha 2006, str. 35.

³² https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 21. 7. 2015.

erytém³³ (červené zbarvení kůže způsobené rozšířením krevních cév a zvýšeným prokrvením).³⁴ S kožními příznaky se mohou při intenzivní expozici objevit i celkové příznaky, které jsou často spojené s přehřátím organismu. Mezi tyto příznaky patří bolest hlavy, horečka a pokles krevního tlaku. Nejzávažnějším následkem nadměrné dávky záření je možnost vzniku kožních karcinomů³² (maligní kožní nádor).^{35 36}

Kvůli tomu, že v oku absorbuje ultrafialové záření hlavně spojivka a částečně i rohovka, dochází k zánětu spojivek a v extrémních případech i k zánětu oční rohovky. V kombinaci zánětu oční rohovky a spojivek dochází k tzv. sněžné slepotě. Tu způsobují nadměrné odrazy od světelných ploch. Sněžná slepota se projevuje až přechodnou ztrátou vidění, ve velmi těžkých případech se může poškodit i sítnice.^{32 37}

Ultrafialové záření také působí na imunitní systém, stimuluje metabolismus, zvyšuje krevní tlak, stimuluje činnost hypofýzy, štítné žlázy a vegetativního nervového systému.³²

Před velkou částí ultrafialového záření nás chrání atmosféra a ozon.³¹ Lidé se poté ještě chrání tmavými brýlemi, opalovacími krémy a vhodným oblečením.³² Na Mars však dopadá asi 6 wattů ultrafialového záření na jeden čtvereční metr. Takové množství zabije většinu forem pozemského života. Astronauti by před takovou dávkou záření neměli víceméně žádnou ochranu. Proto by se v souvislosti s terraformací Marsu mohly na Mars zavést do půdy některé druhy lišejníků, které by mohly začít uvolňovat kyslík, který by pak v horních vrstvách atmosféry dal vzniknout ozónu.³⁸

³³

http://www.wikiskripta.eu/index.php/%C3%9A%C4%8Dinky_ultrafialov%C3%A9ho_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 21. 7. 2015.

³⁴ <http://lekarske.slovníky.cz/pojem/erytem> 21. 7. 2015.

³⁵ <https://cs.wikipedia.org/wiki/Karcinom> 21. 7. 2015.

³⁶ http://www.wikiskripta.eu/index.php/N%C3%A1dory_k%C5%AF%C5%BEE 21. 7. 2015.

³⁷ <http://www.ulekare.cz/audio/snezna-slepota-178> 21. 7. 2015.

³⁸ <http://www.national-geographic.cz/clanky/jak-udelat-mars-obyvatelnym-staci-pet-kroku-a-1500-let.html#.Va952aTtlBd> 22. 7. 2015.

1.2.7 Rentgenové záření

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění s velmi krátkou vlnovou délkou a vysokou energií. Ta je více než tisíckrát kratší, než je vlnová délka viditelného světla.³⁹ Rentgenovým zářením ve vesmíru se zabývá rentgenová astronomie. Ta zkoumá vesmírné objekty, které vysílají rentgenové záření. Zdroji tohoto záření jsou nejčastěji neutronové hvězdy, supernovy, mlhoviny, které vznikly po výbuších supernov, a akreční disky hmoty vtahované do černé díry.⁴⁰ Akreční disk černé díry je rozptýlený materiál obíhající právě okolo černé díry, kam je po spirále stále stahován.⁴¹

V živých organismech vyvolává biologické, chemické a genetické změny.⁴² Rentgenové záření může způsobovat poškození buněk. Když rentgenové záření poškodí buňky somatické, tj. stavební materiál lidského těla, dochází ke vzniku nádorových onemocnění. Nejvíce citlivé jsou tkáně, které se často a rychle obnovují. Mezi ty patří krevní elementy, buňky střevní a žaludeční sliznice, kostní dřeň, kůže a štítná žláza. Větší odolnost pak mají svaly a nervová tkáň. Mnohem vyšší ohrožení tkání je u dětí v období růstu a dospívání, kdy se veškeré tkáně vyvíjejí a obnovují velmi rychle. Pokud zasáhne rentgenové záření buňky gametické, tj. reprodukční buňky, které dávají vznik novému potomstvu, průnik mutovaného genu trvá po dobu až 9 generací. To vede k velkému rozšíření geneticky podmíněných chorob.⁴³

Pohlcování rentgenového záření různými materiály závisí na jejich protonovém čísle. Čím větší protonové číslo materiál má, tím víc záření pohltní. Také záleží na tloušťce pohlcující vrstvy.⁴⁴ Například kosti budou díky vápníku s protonovým číslem 40 pohlcovat více záření než třeba svaly z vodíku s protonovým číslem 1, uhlíku s protonovým číslem 6 a kyslíku s protonovým číslem 8.⁴⁴

³⁹ <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/fyzika.htm> 22. 7. 2015.

⁴⁰ https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenov%C3%A1_astronomie 22. 7. 2015.

⁴¹ https://cs.wikipedia.org/wiki/Akre%C4%8Dn%C3%AD_disk 22. 7. 2015.

⁴² <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k22.htm> 22. 7. 2015.

⁴³ <http://www.meredit.cz/content/view/96/27/> 22. 7. 2015.

⁴⁴

http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4b76616e746f76e12066797a696b61h&key=1047 22. 7. 2015.

Na Zemi pohlcuje téměř veškeré rentgenové záření atmosféra. Stejně tak by tomu mělo být i na Marsu.⁴⁵

1.2.8 Sluneční vítr

Sluneční vítr je tvořen neustálým proudem částic směřujících od Slunce.⁴⁶ Tvoří ho protony, elektrony, kosmické záření a další podobné druhy částic, které mohou ionizovat atmosféru, když „vyprsknou“ ven.¹ Zdrojem tohoto větru je sluneční korona, jejíž teplota je tak vysoká, že zdejší částice mají tak vysokou energii, že je sluneční gravitace již nedokáže udržet a částice se tak uvolní do vesmíru. Intenzita slunečního větru se zvyšuje po velkých slunečních erupcích.⁴⁷

Jelikož je magnetické pole Marsu velmi slabé, sluneční vítr proniká až do marsové atmosféry a tím ho připravuje i o její zbytek. Slunce navíc vysílá tzv. dvojité vlny větru, které sice nejsou moc časté, ale objevují se pravidelně. Sonda Mars Express zaznamenala dvě takové dvojité vlny v roce 2007 a 2008. Dvojité vlny vznikají v okamžiku, kdy Slunce vyšle jednu vlnu, která je pomalejší a následně druhou rychlou vlnu, která tu první dostihne. Tyto dvojité vlny se pak podílejí na úbytku atmosféry Marsu až z 30 %. Dalo by se říci, že atmosféra Marsu díky svým polárním čepičkám, nad kterými stále existují zbytky magnetického pole, a zbloudilým kometám jen prodlužuje svou existenci.⁴⁸ Sluneční vítr má ale také jedno pozitivum, ačkoli se netýká Marsu. Při vzniku těles Sluneční soustavy se nespotřeboval všechny prach a sluneční vítr ho svým prouděním ničí. Čistí tak Sluneční soustavu.⁴⁹

⁴⁵

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:E_gyiwXMiSMJ:https://courseware.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu%3Fid%3D21056+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz 22. 7. 2015.

⁴⁶ <http://vesmir.stoplusjednicka.cz/co-je-slunecni-vitr-jak-se-projevuje> 22. 7. 2015.

⁴⁷ https://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_v%C3%ADtr 22. 7. 2015.

⁴⁸ <http://www.novinky.cz/veda-skoly/195047-slunecni-vitr-neustale-vysava-z-marsu-vzduch.html> 22. 7. 2015.

⁴⁹ <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/979-slunecni-vitr> 22. 7. 2015.

1.3 Radiace na Marsu

V srpnu roku 2012 přistál na povrchu Marsu robot s názvem Curiosity. Ten od počátku svého přistání pomocí přístroje RAD (v překladu Radiation Assessment Detector) měřil radiaci na Marsu. V oblasti kráteru Gale, kde Curiosity přistál, naměřil průměrnou denní dávku kosmického záření ze vzdáleného vesmíru a energetických částic ze Slunce v hodnotě 0,67 milisievertů. Člověk je pro porovnání krátkodobě vystaven radiaci o hodnotě 0,02 milisievertů při rentgenu plic. Za celý rok je člověk na zemi vystaven 2,2 milisievertu z přírodních zdrojů, které tvoří zemská kůra a kosmické pozadí. Během doby, kdy Curiosity na Marsu měřil radiaci, nedošlo k žádné větší sluneční bouři, která by Mars zasáhla, a proto pocházelo více než 95 % radiace z kosmického záření.

Mimo radiaci působící na Marsu zaznamenala Curiosity také radiaci působící během cesty na Mars. Naměřila, že výsledná hodnota radiace, které bude budoucí posádka pilotovaného letu na Mars a zpět vystavena, bude přibližně 1 000 milisievertů. Vystavení takovéto radiaci vede k 5% zvýšení šance na zhoubné onemocnění rakovinou. Přitom dle současných limitů NASA pro kosmonauty pracující na nízké oběžné dráze kolem Země může pobyt v kosmu vést maximálně ke zvýšení šance na zhoubné onemocnění rakovinou o 3 %.⁵⁰ Vědci navíc upozorňují, že vystavení člověka úrovni záření podobné té, jež by byla během mise na Mars, vyvolá nežádoucí fyziologické a neurologické změny. Například vysuší střevní výstelku a znemožní trávicí procesy v organismu. Urychlí také změny v mozku spojené s Alzheimerovou chorobou. Pravděpodobnější ale je, že by astronauti cestu vůbec nepřežili a zabila by je nemoc z ozáření.⁵¹

Nemoc z ozáření nebo také akutní radiační syndrom označuje poškození tkání způsobené nadměrným vystavením jedince ionizujícímu záření. Mechanismus účinku ionizujícího záření je dvojitý: při průchodu částic tkání může dojít k úplné nebo částečné absorpci záření buňkami. Účinek záření pak může být přímý a nepřímý. Pokud proběhne ionizace přímo v molekule DNA, jedná se o účinek přímý. Nepřímý účinek je zprostředkován radikály vody, které následně poškozují vlákna DNA. Radikály vznikají disociací molekul působením ionizujícího záření.

⁵⁰ <http://www.astro.cz/clanky/slunezni-soustava/radiace-na-povrchu-marsu-a-pilotovane-lety.html> 22. 7. 2015.

⁵¹ <http://procproto.cz/zajimavosti-a-novinky/lide-nemohou-letet-na-mars/> 22. 7. 2015.

Nejvíce ohrožené tkáně jsou ty, které se rychle dělí, jako je například kostní dřeň a střevní epitel. Myokard a nervové buňky jsou naopak rezistentní díky pomalému dělení.⁵²

1.4 Ochrana proti vesmírné radiaci na Zemi

Našemu pozemskému životu nehrozí od kosmického záření nějaké zvlášť velké nebezpečí. Máme totiž magnetické pole a hustou atmosféru. Magnetické pole odklání nebezpečné částice, zejména ty ze Slunce, směrem ven a atmosféra většinu nebezpečných částic zachytí.⁵³

Magnetické pole Země sahá až do vzdálenosti 100 000 kilometrů od planety, na straně přivrácené ke Slunci je vlivem slunečního větru zmáčklé a na odvrácené straně naopak protáhlé. Má dipólový charakter, tudíž rozložení jeho siločar je podobné siločarám v okolí tyčového magnetu. Severní magnetický pól se nachází na zemském jižním pólu a naopak – jižní magnetický pól se nachází na zemském severním pólu. Magnetické pole Země se vytváří díky obrovskému hydrodynamickému dynamu: při rotaci vnějšího polotekutého jádra, které se nachází mezi pevným vnitřním jádrem a zemským pláštěm, probíhá tření. Díky tomuto tření poté vzniká elektrický proud, který vytváří magnetické pole.

Díky působení magnetického pole Země také vzniká zemská magnetosféra. Ta nedovoluje většině elektricky nabitých částic, které pocházejí ze slunečního větru, aby se dostaly na povrch planety. Protože nabité částice musí při svém pohybu sledovat siločáry magnetického pole, plní magnetosféra ochrannou funkci, bez které by nebyl na povrchu naší planety život možný.⁵⁴

⁵² http://www.wikiskripta.eu/index.php/Nemoc_z_oz%C3%A1%C5%99en%C3%AD 22. 7. 2015.

⁵³ http://technet.idnes.cz/magnetickym-stitem-proti-kosmickemu-zareni-fz8-/tec-vesmir.aspx?c=A081111_203830_tec-vesmir_mbo 23. 7. 2015.

⁵⁴ https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A9_pole_Zem%C4%9B 23. 7. 2015.

1.5 Ochrana proti vesmírné radiaci na Marsu

Jak jsme již psali v úvodu o magnetickém poli Marsu (kapitola 1.1), Mars o své magnetické pole a část své atmosféry přišel. Sluneční vítr proto proniká až do atmosféry a Mars tak připravuje i o její zbytek (viz kapitola o slunečním větru). Obáváme se, že bez funkčního magnetického pole se asi nedá zabránit průchodu slunečního větru do atmosféry. Více bychom se ale zabývali radiací na povrchu Marsu.

Jak jsme již dříve uvedli, před některým zářením by astronautovi stačil skafandr, před některým by už musel být chráněn vrstvami olova, či dokonce betonu. Data z přístroje RAD na pojízdném vozítku Curiosity na Marsu také pomohou určit, jak hluboko záření proniká a kde už jsou jeho hodnoty tak slabé, že by dovolovaly udržení jednoduchého života. Pokud by přístroj úspěšně naměřil hloubku, mohli bychom například vystavět „bunkr“ pro astronauty přímo pod zemí, kde by už nemělo záření takové hodnoty jako na povrchu.

Tento bunkr by mohl být vyztužen 2 cm olova, jelikož jeho polotloušťka je 1 cm a 12 cm betonu následovně po olovu, opět dvojnásobek jeho polotloušťky, abychom neabsorbovali pouze 50 % záření, ale pokud možno všechno. Na bunkr by také mohla být využita Faradayova klec. Vystavění takového bunkru by však vyžadovalo dostat na Mars obrovské vrtáky a stroje, které by byli schopné bunkr vytvořit ještě před přistáním astronautů. Tyto stroje by pak mohly najít další využití při zkoumání Marsu a nebylo by tak vůbec na škodu je tam „poslat“.

Jak se ale budou astronauti po Marsu pohybovat? Jako nejjednodušší se nám jeví nějaké vozítko takové velikosti, aby bylo schopné pojmout astronauty a například nasbíraný marsovský materiál. V podstatě by se mohlo jednat o takové „Marsové terénní auto“. Toto auto by mělo pohon na sluneční záření, které by dopadalo na solární panely umístěné například na střeše auta. Auto by bylo samozřejmě opatřeno Faradayovou klecí, která má „dobrou ochrannou funkci“ právě před elektromagnetickým zářením díky soustředění elektrického náboje pouze na povrchu a nikoli v objemu. Auto nebo vozítko by pak mohlo být „zabalené“ v malé magnetické bublině, která by představovala jakousi zmenšenou kopii zemské

magnetosféry. Magnetické bubliny by se také daly použít při cestě na Mars jako takové. Bublina by byla okolo celé kosmické lodi a tím by měla odstínit podstatnou část škodlivé radiace.⁵⁵

Astronauti by pak mohli při pobytu na Marsu zavést do půdy některé druhy lišejníků, které by začaly uvolňovat kyslík, a ten by pak v horních vrstvách atmosféry dal vzniknout ozónu. Pokud by se v atmosféře začal objevovat ozon a začal se rozrůstat, mohl by odpadnout velký problém s dopadajícím ultrafialovým zářením, jehož na Mars dopadá opravdu hodně. Jedná se však o teoretické úvahy spojené s několika vědeckými teoriemi.

2. Praktická část

Hlavním cílem této práce však není vymýšlet alternativní ochranu před kosmickým zářením na Marsu. Naším cílem, a to především v této praktické části, je vytvořit program simulující dopadající záření na astronauta na Marsu. Astronaut, který se bude volně pohybovat na Marsu, musí mít přehled o tom, kolik částic na něj dopadá, a tudíž jak dlouho může pobývat mimo nějaký úkryt.

2.1 Program Dopadající_zareni_Mars_Odysseus

2.1.1 Programovací jazyk a vývojové prostředí

Náš simulující program jsme vytvářeli v programovacím jazyce C#.NET a jako vývojové prostředí jsme používali Microsoft Visual Studio 2015 Community.

⁵⁵ http://technet.idnes.cz/magnetickym-stitem-proti-kosmickemu-zareni-fz8-/tec-vesmir.aspx?c=A081111_203830_tec-vesmir_mbo 23. 7. 2015.

Tento programovací jazyk jsme si vybrali z důvodu jeho částečné znalosti a také nám přišel vhodný pro vytváření tohoto programu. Microsoft Visual Studio 2015 Community je, jak už z názvu vyplývá, vývojové prostředí od Microsoftu, které je pro programování v jazyce C# nejlepší a také je volně dostupné na webových stránkách Microsoftu⁵⁶.

2.1.2 O programu

Náš program jsme pojmenovali `Dopadajici_zareni_Mars_Odysseus`. Program je druh konzolové aplikace, která celá běží a funguje v příkazovém řádku. Každou vteřinu se v konzoli vypíše číslo, které představuje hodnotu celkového záření, které na člověka již dopadlo. Na další řádku se vypíše hodnota záření, která dopadla v dané vteřině a na dalším řádku se zobrazí stav astronauta, který se mění v závislosti na počtu dopadajícího záření.

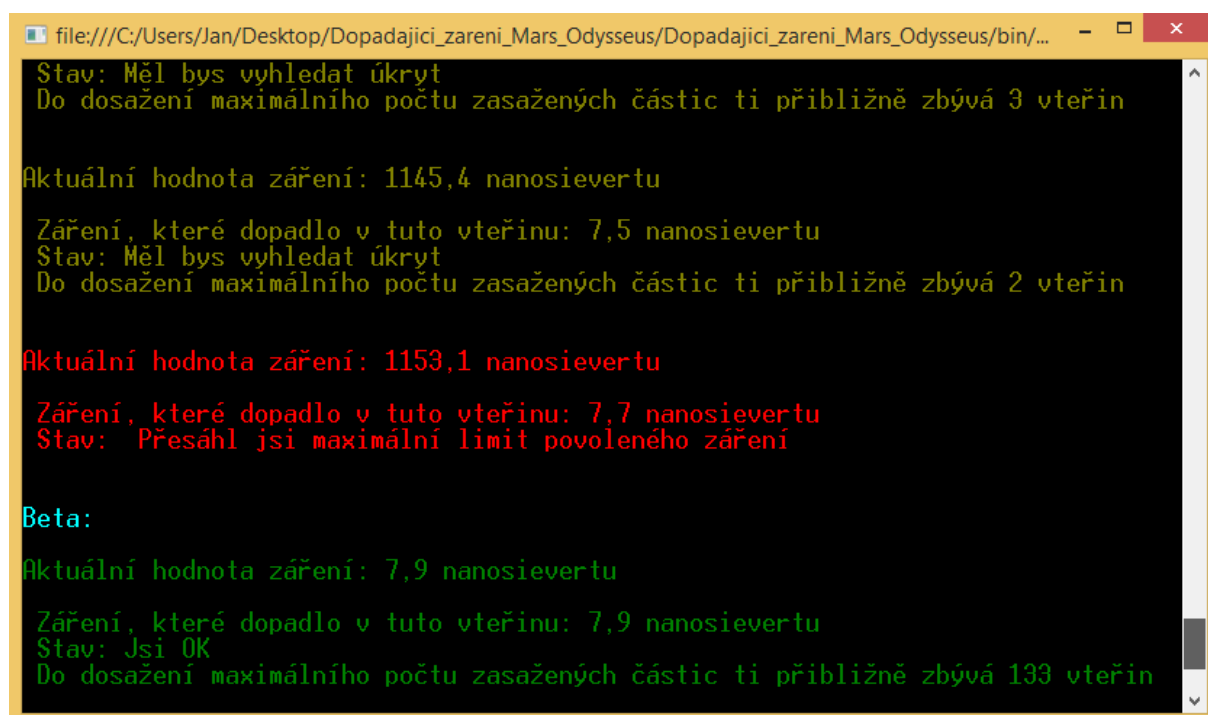
Stav astronauta jsme rozdělili do 4 kategorií – do 25 % maximálního počtu dopadajícího záření (také limitu) je stav astronauta „OK“, od 26 % do 50 % je stav „docela OK“, od 51 % do 75 % se astronaut „přibližuje k maximální hodnotě“ a při více jak 75 % by astronaut „měl vyhledat úkryt“. Pokud astronaut překročí maximální limit, konzole mu tuto skutečnost oznámí. Barva písma v konzoli se rovněž mění v závislosti na obdrženém množství záření – do 50% je barva zelená, při hodnotách vyšších než 50 % je barva žlutá a při překročení limitu je barva červená. Pro lepší představu jsme vytvořili tabulku:

| | | | | | |
|--|--------|---------------|---|------------------------|---|
| hodnota dopadajícího záření | 16 | 26 | 69 | 90 | 101 |
| % z maximálního počtu dopadajícího záření (max. 100) | 16% | 26% | 69% | 90% | 101% |
| stav astronauta | Jsi OK | Jsi docela OK | Přibližuješ se k maximální hodnotě záření | Měl bys vyhledat úkryt | Přesáhl jsi maximální limit povoleného záření |
| barva | zelená | zelená | žlutá | žlutá | červená |

⁵⁶ <https://www.visualstudio.com/cs-cz/downloads/download-visual-studio-vs.aspx> 26. 1. 2015.

Na řádce následující po celkovém počtu dopadajícího záření a oznámení stavu astronauta program vypíše hodnotu času ve vteřinách, který astronautovi zbývá do dosažení maximálního limitu při stávajícím dopadajícím záření (např. za danou vteřinu dopadlo 5 částic, kdyby tedy dopadalo stále jen 5 částic, astronautovi by zbývalo 19 vteřin do dosažení 100 částic).

Jednotky, ve kterých program vypisuje hodnoty, jsou nanosieverty. Hodnoty dopadajícího záření jsme vypočítali z denního množství záření, které dopadá na Mars, a poté jsme jej převedli na optimální jednotky. Maximální limit jsme spočítali z dávky záření, které může dle současných limitů NASA pro kosmonauty pracující na nízké oběžné dráze kolem Země vést ke zvýšení šance na zhoubné onemocnění rakovinou o 3 %⁵⁰. Zároveň bychom měli uvést, že hodnoty, které dopadají v každém druhu záření, jsou v našem programu téměř totožné. Ve skutečnosti se hodnoty u jednotlivých záření liší.



```
file:///C:/Users/Jan/Desktop/Dopadajici_zareni_Mars_Odysseus/Dopadajici_zareni_Mars_Odysseus/bin/...
Stav: Měl bys vyhledat úkryt
Do dosažení maximálního počtu zasažených částic ti přibližně zbývá 3 vteřin

Aktuální hodnota záření: 1145,4 nanosievertu
Záření, které dopadlo v tuto vteřinu: 7,5 nanosievertu
Stav: Měl bys vyhledat úkryt
Do dosažení maximálního počtu zasažených částic ti přibližně zbývá 2 vteřin

Aktuální hodnota záření: 1153,1 nanosievertu
Záření, které dopadlo v tuto vteřinu: 7,7 nanosievertu
Stav: Přesáhl jsi maximální limit povoleného záření

Beta:
Aktuální hodnota záření: 7,9 nanosievertu
Záření, které dopadlo v tuto vteřinu: 7,9 nanosievertu
Stav: Jsi OK
Do dosažení maximálního počtu zasažených částic ti přibližně zbývá 133 vteřin
```

(screenshot běžícího programu)

2.1.3 Tvorba programu

V naší aplikaci jsme si vytvořili novou třídu s názvem `Funkce`. V této třídě vytvoříme funkce `VypisCisla()`, `VypisCas()` a `NapisNazev()`. Ve funkci `VypisCisla()` vytvoříme cyklus, který se bude opakovat do té doby, dokud hodnota záření nepřekročí maximální povolený limit. V tomto cyklu vytvoříme vždy náhodné číslo, které představuje dopadající záření dopadnuté v dané vteřině, které následně přičítáme k dosavadnímu číslu (na začátku nulovému, postupně se zvětšujícím a představujícím celkovou hodnotu dopadajícího záření). Mezi vypisováním jednotlivých čísel jsme použitím metody `Thread.Sleep(1000)` nechali vteřinovou pauzu, čímž se vypisují opravdu počty částic dopadnutých za danou vteřinu. Tato metoda určuje, na kolik milisekund se vlákno programu zastaví.

Podle velikosti již dopadnutého záření se nám obarvuje písmo konzole, přičemž nám vypisuje stav astronauta. Obarvování písma a vypisování stavu astronauta jsme dosáhli pomocí systému podmínek. Na konci cyklu vždy zavoláme funkci `VypisCas()`, která vypíše přibližný čas do překročení limitu.

Pro zjištění zbývajcího času jsme použili opět cyklus, který číslo (počet částic dopadnutých v dané vteřině) neustále přičítá k sobě do té doby, dokud výsledný součet nepřekročí limit. Kolikrát cyklus přičte dané číslo, tolik vteřin astronautovi z jeho pobytu zbývá.

Poslední funkce našeho programu vypisuje název záření a přebarví písmo na modrou barvu. Ve třídě `Program` jsme nakonec udělali instanci třídy `Funkce`, ve které jsme poté vždy nechali vypsát funkce s danými parametry pro dané záření. Celý program je detailněji popsán přímo v jeho zdrojovém kódu. K jeho otevření je však nutné mít na počítači nainstalované Microsoft Visual Studio, nejlépe z roku 2015 pro kompatibilitu s naší verzí.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

//Program pro simulovaný výpis hodnot dopadající radiace na povrchu Marsu

namespace Dopadajici_zareni_Mars_Odysseus
{
    class Program //hlavní třída
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            //V třídě Program vždy zavoláme funkci z třídy Funkce s parametry daného záření

            Console.ForegroundColor = ConsoleColor.DarkCyan;
            Console.WriteLine("Simulace dopadajícího záření");//Výpis úvodní věty

            Funkce z = new Funkce(); //Vytvoření instance třídy

            z.NapisNazev("Alfa"); //Z třídy Funkce voláme funkci NapisNazev(), jako její atribut jsme zadali název, který vypíše
            z.VypisCisla(11500, 72, 80); //z třídy Funkce voláme funkci VypisCisla, její atributy jsou maximální limit záření, a nejmenší a největší možná hodnota
            Console.WriteLine();

            z.NapisNazev("Beta");
            z.VypisCisla(10500, 73, 82);
            Console.WriteLine();

            z.NapisNazev("Gamma");
            z.VypisCisla(10000, 75, 85);
            Console.WriteLine();

            z.NapisNazev("W");
            z.VypisCisla(12000, 75, 80);
            Console.WriteLine();
        }
    }
}
```

(screenshot zdrojového kódu programu – část třídy Program)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;

namespace Dopadajici_zareni_Mars_Odysseus
{
    // Do třídy Funkce jsme si napsali všechny funkce, do kterých vkládáme z třídy Program hodnoty
    // dopadajícího záření v podobě parametrů.
    class Funkce
    {
        // Definice privátní proměnné random, která nám vytvoří náhodné číslo.
        private Random random = new Random();

        /// <summary>
        /// Tato funkce vypíše, kolik času vám zbývá do překročení limitu při dopadání stejného množství
        /// částic jako dopadlo v této vteřině.
        /// </summary>
        /// <param name="cislo">částice, které dopadly na povrch v této vteřině</param>
        /// <param name="limit">limit, který se nemají překročit</param>
        /// <param name="zacatecnyCislo">číslo, od kterého máme čas do překročení limitu</param>

        private void VypisCas(int cislo, int limit, int zacatecnyCislo)
        {
            int i; //deklarace čítače cyklu, po každém projetí cyklu se i zvětší o jedna a to nám určuje počet
            //vteřin které zbývají do dosažení limitu, i deklaruje už na začátku, aby jsme ho mohli
            //vypsat mimo cyklus

            if (zacatecnyCislo < limit)
            {
                for (i = 1; zacatecnyCislo <= limit; i++)
                {
                    zacatecnyCislo += cislo;
                    //v tomto cyklu přičteme k základnímu číslu počet dopadnutého záření doku nepřekročí limit
                    //a tím zvětšíme počet vteřin
                }
            }
        }
    }
}
```

(screenshot zdrojového kódu programu – část třídy Funkce)

2.1.4 Budoucnost programu

Z důvodu naší ne stoprocentní znalosti programovacího jazyka nejsme v konzolové aplikaci schopni vypisovat všechny druhy záření najednou, což by program při praktickém využití samozřejmě vypisovat musel. Tento problém bychom však chtěli v budoucnu vyřešit. Program v současné době vypisuje stav astronauta pouze po dopadu jednoho typu záření, v budoucnu by tak vypisoval stav po dopadu všech druhů záření. K řešení programu bychom použili buďto okenní aplikace C#WPF nebo webové rozhraní s použitím JavaScriptu.

3. Diskuze

Při tvorbě programu jsme se nesetkali s žádnými většími problémy. Určité ztížení představovalo pár špatně napsaných cyklů, které nám vždy shodily celý program. Dalším ztížením pro nás byla barva a to konkrétně její změny v konzoli. Barva totiž zůstávala stejná, i když už měla být jiná. Tento problém jsme vyřešili korekcí zdrojového kódu. Program však skýtá jeden velký problém a to ten, že nevypisuje všechny druhy záření ve stejný čas. Toho však nejsme schopni s našimi omezenými znalostmi programovacího jazyka dosáhnout. V budoucnu máme v plánu tento problém vyřešit.

4. Závěr

V této práci jsme čtenáře seznámili s jednotlivými typy záření vyskytujícími se ve vesmíru, jeho působením na člověka a možnou ochranou před ním. Dále jsme čtenáře informovali o stavu radiace na Marsu a následně jsme porovnali ochranu právě před touto radiací na Zemi, kterou obýváme, a na Marsu, který bychom obývat chtěli. V závěru teoretické části jsme se pokusili navrhnout základnu pro astronauty pobývající na Marsu spolu s vozítkem, s jehož použitím by se na Marsu pohybovali.

V praktické části jsme vytvořili program simulující záření dopadající na Mars. Program vypisuje čísla představující hodnoty právě dopadajícího záření na Mars, které poté dále zpracovává. Informuje tak astronauta například o tom, kolik času mu zbývá do dosažení maximálního povoleného limitu při stávající dávce záření. Program se dá v mnoha ohledech vylepšit. A na to bychom se chtěli zaměřit v budoucnu.

6. Seznam informačních zdrojů

Tištěné prameny (knihy)

1. Rees M., Dinwiddie R., Eales P., Hughes D., Nicolson I., Ridpath I., Sparrow G., Spence P., Stott C., Tildsley K.: Vesmír, Euromedia Group k. s., Praha 2006
2. *1001 otázek a odpovědí na vše kolem nás*. Praha: Euromedia Group k.s., Knižní Klub, Balios, 1999

Internetové zdroje

1. https://www.youtube.com/watch?v=5hpszvLlpnY&list=PLIYQQfHRm4P63PLjOB7IdwHHZAoV3BFI_&index=3 18. 7. 2015.
2. <http://astronomia.zcu.cz/planety/mars/1134-atmosfera> 18. 7. 2015.
3. https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8C%C3%A1stice_alfa 18. 7. 2015.
4. <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/803-zareni-alfa> 19. 7. 2015.
5. <https://www.newscientist.com/article/dn3968-radon-leaks-could-reveal-water-on-mars/> 18. 7. 2015.
6. https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_beta 19. 7. 2015.
7. <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/804-zareni-beta> 19. 7. 2015.
8. <http://www.ps.uci.edu/~superk/neutrino.html> 19. 7. 2015.
9. [https://sk.wikipedia.org/wiki/Nukleosynt%C3%A9za_\(kozmol%C3%B3gia\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Nukleosynt%C3%A9za_(kozmol%C3%B3gia)) 19. 7. 2015.
10. <http://www.epa.gov/radiation/understand/beta.html#affecthealth> 19. 7. 2015.
11. <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#2> 19. 7. 2015.
12. <http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm> 19. 7. 2015.
13. https://cs.wikipedia.org/wiki/Excitovan%C3%BD_stav 19. 7. 2015.

14. https://cs.wikipedia.org/wiki/Gama_z%C3%A1blesk 20. 7. 2015.
15. http://www.wikiskripta.eu/index.php/Z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_gama_v_medic%C3%ADn%C4%9B#P.C5.AFsoben.C3%AD_gama_z.C3%A1.C5.99en.C3%AD_na_organismus 20. 7. 2015.
16. http://www.wikiskripta.eu/index.php/P%C5%AFsoben%C3%AD_ionizuj%C3%ADc%C3%ADho_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD_na_organismus 20. 7. 2015.
17. http://www.wikiskripta.eu/index.php/St%C3%ADn%C4%9Bn%C3%AD_a_ochrana_p%C5%99ed_gama_z%C3%A1%C5%99en%C3%ADm 20. 7. 2015.
18. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrovlny> 20. 7. 2015.
19. http://www.wikina.cz/a/Mikrovlnn%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 20. 7. 2015.
20. http://www.wikiskripta.eu/index.php/Neionizuj%C3%ADc%C3%AD_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 20. 7. 2015.
21. https://cs.wikipedia.org/wiki/Faradayova_klec 20. 7. 2015.
22. http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f6d61676e657469636be920766c6e79h&key=522 20. 7. 2015.
23. http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f6d61676e657469636be920766c6e79h&key=690 20. 7. 2015.
24. <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni> 21. 7. 2015.
25. https://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 21. 7. 2015.
26. http://www.wikiskripta.eu/index.php/%C3%A9%C4%8Dinky_ultrafialov%C3%A9h_o_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD 21. 7. 2015.
27. <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/erytem> 21. 7. 2015.
28. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Karcinom> 21. 7. 2015.
29. http://www.wikiskripta.eu/index.php/N%C3%A1dory_k%C5%AF%C5%BEE 21. 7. 2015.
30. <http://www.ulekare.cz/audio/snezna-slepoty-178> 21. 7. 2015.
31. <http://www.national-geographic.cz/clanky/jak-udelat-mars-obyvatelem-staci-pet-kroku-a-1500-let.html#.Va952aTtBd> 22. 7. 2015.

32. <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/fyzika.htm> 22. 7. 2015.
33. https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenov%C3%A1_astronomie 22. 7. 2015.
34. https://cs.wikipedia.org/wiki/Akre%C4%8Dn%C3%AD_disk 22. 7. 2015.
35. <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k22.htm> 22. 7. 2015.
36. <http://www.meredit.cz/content/view/96/27/> 22. 7. 2015.
37. http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4b76616e746f76e12066797a696b61h&key=1047 22. 7. 2015.
38. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:E_gyiwxiSMJ:https://courseware.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu%3Fid%3D21056+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz 22. 7. 2015.
39. <http://vesmir.stoplusjednicka.cz/co-je-slunecni-vitr-jak-se-projevuje> 22. 7. 2015.
40. https://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_v%C3%ADtr 22. 7. 2015.
41. <http://www.novinky.cz/veda-skoly/195047-slunecni-vitr-neustale-vysava-z-marsu-vzduch.html> 22. 7. 2015.
42. <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/979-slunecni-vitr> 22. 7. 2015.
43. <http://www.astro.cz/clanky/slunecni-soustava/radiace-na-povrchu-marsu-a-pilotovane-lety.html> 22. 7. 2015.
44. <http://procproto.cz/zajimavosti-a-novinky/lide-nemohou-letet-na-mars/> 22. 7. 2015.
45. http://www.wikiskripta.eu/index.php/Nemoc_z_oz%C3%A1%C5%99en%C3%AD 22. 7. 2015.
46. http://technet.idnes.cz/magnetickym-stitem-proti-kosmickemu-zareni-fz8-/tec-vesmir.aspx?c=A081111_203830_tec-vesmir_mbo 23. 7. 2015.
47. https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A9_pole_Zem%C4%9B 23. 7. 2015.
48. http://technet.idnes.cz/magnetickym-stitem-proti-kosmickemu-zareni-fz8-/tec-vesmir.aspx?c=A081111_203830_tec-vesmir_mbo 23. 7. 2015.
49. <https://www.visualstudio.com/cs-cz/downloads/download-visual-studio-vs.aspx> 26. 1. 2015.

Jiné prameny

1. DUFKOVÁ, Marie. *Radioaktivita, radionuklidy, ionizující záření, dávky, jednotky, účinky, ochrana* [online]. 2003 [cit. 2015-07-29]. Dostupné z: <http://www.fyzweb.cz/materialy/fukusima/radioaktivita.ppt>. Prezentace.

2. STUPŇÁNKOVÁ, Magda. *Infračervené záření v současnosti* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-07-29]. Dostupné z: is.muni.cz/th/214917/lf_b/IR_zareni_v_soucasnosti.doc. Bakalářská práce. Vedoucí práce MUDr. Věra Maryšková.