

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ

KATEDRA DOZIMETRIE A APLIKACE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prostorová distribuce dávky uvnitř

Mezinárodní kosmické stanice

Autor: Michal Šesták

Vedoucí práce: Ing. Iva Ambrožová, Ph.D.

Praha, 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

## Poděkování

Děkuji Ing. Ivě Ambrožové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky, které tuto práci obohatily.

*Název práce:* **Prostorová distribuce dávky uvnitř Mezinárodní kosmické stanice**

*Autor:* Michal Šesták

*Obor:* Dozimetrie a aplikace ionizujícího záření

*Druh práce:* Bakalářská práce

*Vedoucí práce:* Ing. Iva Ambrožová, Ph.D.

Oddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i.,  
Akademie věd České republiky

*Abstrakt:* Kosmické záření představuje veliký zdravotní risk při pobytu ve vesmíru. K jeho monitorování se používají i pasivní detektory, obzvláště pak termoluminiscenční detektory a detektory stop v pevné fázi. Experiment DOSIS, který probíhal v rozmezí let 2009–2011, měl za úkol stanovit prostorovou distribuci dávky uvnitř modulu Columbus, který je součástí Mezinárodní kosmické stanice. Se stejným cílem byl v roce 2012 spuštěn experiment DOSIS3D, jenž probíhá doposud. Z naměřených dat lze také do určité míry vyvodit závislost dávkového příkonu na řadě parametrů, např. sluneční aktivitě a nadmořské výšce. Tato práce pojednává o složení kosmického záření v blízkém okolí Země, o výše zmíněných pasivních detektorech, o projektech DOSIS a DOSIS3D a nakonec je uvedena názorná ukázka vyhodnocení tří detektorů stop, které byly umístěny v modulu Columbus.

*Klíčová slova:* kosmické záření v blízkém okolí Země, detektory stop v pevné fázi, ISS, modul Columbus, DOSIS, DOSIS3D

*Title:* **Dose distribution inside the International Space Station**

*Author:* Michal Šesták

*Abstract:* Cosmic rays represent a huge health risk. Passive detectors are widely used for their measurement, especially thermoluminescent detectors and solid state nuclear track detectors. Experiment DOSIS was running between years 2009–2011 and its purpose was the determination of radiation environment within the International Space Station's Columbus module. Experiment DOSIS3D, which started in 2012, has the same aim. The measured data can also provide informations about influence of several parameters (for instance solar activity, altitude) to the dose rate. This work includes informations about characteristics of the cosmic rays in low Earth orbit, about passive detectors used in space measurements, about experiments DOSIS and DOSIS3D. Finally, there is involved the evaluation of three track etched detectors at the end of the work.

*Key words:* cosmic rays in low Earth orbit, solid state nuclear track detectors, ISS, Columbus module, DOSIS, DOSIS3D

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>1 Kosmické záření v blízkém okolí Země</b>	<b>9</b>
1.1 Zdroje kosmického záření v blízkém okolí Země . . . . .	10
1.1.1 Galaktické kosmické záření . . . . .	10
1.1.2 Zemské radiační pásy . . . . .	11
1.1.3 Sluneční události s emisí částic . . . . .	12
1.1.4 Sekundární částice . . . . .	13
1.2 Faktory ovlivňující kosmické záření v blízkém okolí Země . . . . .	13
1.2.1 Fáze slunečního cyklu . . . . .	13
1.2.2 Sklon oběžné dráhy . . . . .	14
1.2.3 Nadmořská výška . . . . .	14
1.2.4 Východní/západní anizotropie zachycených protonů . . . . .	14
1.2.5 Stínění . . . . .	15
<b>2 Pasivní detektory používané k monitorování kosmického záření</b>	<b>16</b>
2.1 Termoluminiscenční detektory . . . . .	16
2.2 Detektory stop v pevné fázi . . . . .	18
2.2.1 Vyhodnocování . . . . .	20
<b>3 Mezinárodní kosmická stanice</b>	<b>22</b>
3.1 Modul Columbus . . . . .	23
<b>4 Experimenty DOSIS a DOSIS 3D</b>	<b>25</b>
4.1 Rozmístění pasivních detektorů . . . . .	26
4.2 Průběh experimentů . . . . .	26
4.2.1 Vývoj nadmořské výšky a slunečního cyklu . . . . .	28

---

4.3	Používané detektory . . . . .	29
4.3.1	Termoluminiscenční detektory . . . . .	30
4.3.2	Opticky stimulované luminiscenční detektory . . . . .	31
4.3.3	Detektory stop v pevné fázi . . . . .	31
4.3.4	Aktivní detektory DOSTEL . . . . .	31
4.3.5	Detektory používané NPI . . . . .	32
4.4	Výsledky . . . . .	33
4.4.1	Srovnání dat pasivních detektorů v rámci jedné sady . . . . .	34
4.4.2	Srovnání dat z osmi sad pro jeden druh pasivního detektoru . . . . .	36
4.4.3	Srovnání dat pasivních a aktivních detektorů . . . . .	37
5	<b>Vyhodnocení tří detektorů stop v pevné fázi</b>	<b>39</b>
	<b>Závěr</b>	<b>45</b>

# Úvod

alskdfjlkasjdflakdsf asdfkldf



# Seznam literatury

1. BENTON, E.R; BENTON, E.V.  
Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond.  
*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2001, roč. 184, č. 1–2, s. 255–294.  
ISSN 0168-583X. Dostupné také z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168583X01007480>.  
Advanced Topics in Solid State Dosimetry.
2. BERGER, T. et al. DOSIS & DOSIS 3D: long-term dose monitoring onboard the Columbus Laboratory of the International Space Station (ISS).  
*J. Space Weather Space Clim.* 2016, roč. 6, s. 39.  
Dostupné také z: <http://dx.doi.org/10.1051/swsc/2016034>.
3. WIKIPEDIA, The Free Encyclopedia.  
*Scale height used in a simple atmospheric pressure model* [online].  
2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Scale\\_height#Scale\\_height\\_used\\_in\\_a\\_simple\\_atmospheric\\_pressure\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Scale_height#Scale_height_used_in_a_simple_atmospheric_pressure_model).
4. REITZ, Guenther.  
Characteristic of the radiation field in low earth orbit and in deep space.  
*Zeitschrift für Medizinische Physik*. 2008, roč. 18, č. 4, s. 233–243. ISSN 0939-3889.  
Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2008.06.015>.
5. AMBROŽOVÁ, I.; BRABCOVÁ, K.; SPURNÝ, F.; SHURSHAKOV, V. A.;  
KARTSEV, I. S.; TOLOCHEK, R. V.  
Monitoring on board spacecraft by means of passive detectors.  
*Radiation Protection Dosimetry*. 2011, roč. 144, č. 1-4, s. 605–610. ISSN 0144-8420.
6. SPURNÝ, F.; JADRNÍČKOVÁ, I. Dependence of thermoluminescent detectors relative response on the linear energy transfer; some examples of use.

- Radiation Measurements*. 2008, roč. 43, č. 2–6, s. 944–947. ISSN 1350-4487.  
Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2007.11.041>.  
Proceedings of the 15th Solid State Dosimetry (SSD15).
7. YOUNG, D. A. Etching of Radiation Damage in Lithium Fluoride. *Nature*. 1958, roč. 182, s. 375–377. Dostupné z DOI: [10.1038/182375a0](https://doi.org/10.1038/182375a0).
8. PACHNEROVÁ BRABCOVÁ, K.; AMBROŽOVÁ, I.; DAVIDKOVÁ, M.; NAGASAKI, Y.; ČERVENKOVÁ, A.; BERGER, T. Spektra lineárního přenosu energie kosmického záření získaná detektory stop v pevné fázi metodou per partes. *Bezpečnost jadrovej energie*. 2017, roč. 25, č. 3/4, s. 110–113. ISSN 1210-7085.
9. FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. Ion Explosion Spike Mechanism for Formation of Charged Particle Tracks in Solids. *Journal of Applied Physics*. 1965, roč. 36, č. 11, s. 3645–3652.  
Dostupné z DOI: [10.1063/1.1703059](https://doi.org/10.1063/1.1703059).
10. PACHNEROVÁ BRABCOVÁ, K. *Study and development of track etch detectors for dosimetric purposes: dissertation thesis*. 2010. Disertační práce.  
České vysoké učení technické v Praze, FJFI, Katedra jaderné chemie.
11. YAMAUCHI, Tomoya. Studies on the nuclear tracks in CR-39 plastics. *Radiation Measurements*. 2003, roč. 36(1-6), s. 73–81.  
Dostupné z DOI: [10.1016/S1350-4487\(03\)00099-4](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00099-4).
12. WIKIPEDIA, The Free Encyclopedia. *CR-39* [online]. 2017 [cit. 2017-05-25].  
Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/CR-39>.
13. PÁLFALVI, J.K. Fluence and dose of mixed space radiation by SSNTDs achievements and constraints. *Radiation Measurements*. 2009, roč. 44, č. 9–10, s. 724–728. ISSN 1350-4487.  
Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2009.10.045>.  
Proceedings of the 24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids.
14. WIKIPEDIE, Otevřená encyklopedie. *Mezinárodní vesmírná stanice* [online]. 2017 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD\\_vesm%C3%ADrn%C3%A1\\_stanice](https://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%AD_vesm%C3%ADrn%C3%A1_stanice).

15. ESA. *Where is the International Space Station?* [online]. 2017 [cit. 2017-04-21].  
Dostupné z: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/International\\_Space\\_Station/Where\\_is\\_the\\_International\\_Space\\_Station](http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/Where_is_the_International_Space_Station).
16. GARCIA, Mark. *Station Facts and Figures* [online]. 2016 [cit. 2017-04-17].  
Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/facts-and-figures>.
17. FICK, Hayley; JORDAN, Gary; SUMNER, Megan.  
*16 Years of Station Told in 16 Gifs* [online]. 2016 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z:  
<https://www.nasa.gov/feature/16-years-of-station-told-in-16-gifs>.
18. ESA. *About the International Space Station* [online]. 2013 [cit. 2017-04-21].  
Dostupné z: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/International\\_Space\\_Station/About\\_the\\_International\\_Space\\_Station](http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/About_the_International_Space_Station).
19. MALIK, Tariq. *International Space Station Gets Life Extension Through 2024* [online]. 2014 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.space.com/24208-international-space-station-extension-2024.html>.
20. ESA. *How much does it cost?* [online]. 2013 [cit. 2017-04-22].  
Dostupné z: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/International\\_Space\\_Station/How\\_much\\_does\\_it\\_cost](http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/International_Space_Station/How_much_does_it_cost).
21. WRIGHT, Jerry. *Station Facts and Figures* [online]. 2015 [cit. 2017-04-22].  
Dostupné z: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/structure/elements/columbus.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/columbus.html).
22. ESA. *ESA astronaut Hans Schlegel works on Columbus exterior during the second spacewalk of the STS-122 mission* [online]. 2008 [cit. 2017-04-21].  
Dostupné z: [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2008/02/ESA\\_astronaut\\_Hans\\_Schlegel\\_works\\_on\\_Columbus\\_exterior\\_during\\_the\\_second\\_spacewalk\\_of\\_the\\_STS-122\\_mission2](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2008/02/ESA_astronaut_Hans_Schlegel_works_on_Columbus_exterior_during_the_second_spacewalk_of_the_STS-122_mission2).
23. BERGER, THOMAS et al.  
DOSIS & DOSIS 3D: radiation measurements with the DOSTEL instruments onboard the Columbus Laboratory of the ISS in the years 2009–2016.  
*J. Space Weather Space Clim.* 2017, roč. 7, s. A8.  
Dostupné z DOI: [10.1051/swsc/2017005](https://doi.org/10.1051/swsc/2017005).

24. USOSKIN, Ilya. *Cosmic Ray Station of the University of Oulu* [online].  
[Cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://cosmicrays oulu.fi>.
25. NARICI, Livio; BERGER, Thomas; MATTHIÄ, Daniel; REITZ, Günther.  
Radiation Measurements Performed with Active Detectors Relevant for Human  
Space Exploration. *Frontiers in Oncology*. 2015, roč. 5, s. 273. ISSN 2234-943X.  
Dostupné z DOI: [10.3389/fonc.2015.00273](https://doi.org/10.3389/fonc.2015.00273).
26. AVČR, ODZ ÚJF. *Mikroskop HSP-1000* [online]. [Cit. 2017-05-13]. Dostupné z:  
<http://cesky.odz.ujf.cas.cz/home/vybaveni/mikroskop-hsp-1000>.