

# Měření kosmického záření

## Dozimetrie posádek letadel

Rastislav Blaho<sup>1</sup>, Ondřej Knopp<sup>2</sup>, Lukáš Melcher<sup>3</sup>, Jan Pokorný<sup>4</sup>, and Borek Požár<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Piaristické gymnázium Jozefa Braneckého, Trenčín – rastislavblaho1997@gmail.com

<sup>2</sup>Gymnázium Třeboň na Sadech 308, Třeboň – knoppkozich@seznam.cz

<sup>3</sup>GCHD, Praha – lmelcher1@gmail.com

<sup>4</sup>Gymnázium a OA Bučovice, Bučovice – jmenujusepopcorn@usa.com

<sup>5</sup>Gymnázium Zmíkunda Wintra, Rakovník – pozar.borek@gmail.com

21. 6. 2016

### Abstrakt

V České republice a také ve většině států na světě existuje nějaké omezení pro piloty dopravních letadel, kteří se dlouhodobě nacházejí v letové výšce nad 8 km nad mořem. Hlavním důvodem jsou právě nechtěné účinky ionizačního záření, jenž je v těchto oblastech vůči podmínkám v nízkých nadmořských výškách řádově větší. To vše je hlavně způsobeno existencí silného kosmického záření, které je však většinou pohlceno naší atmosférou. V této práci jsme se pokusili zjistit, zda-li by takové nařízení mělo platit i pro piloty sportovních letadel, která se nacházejí výrazně pod výše zmíněnou letovou výškou.

### Objev kosmického záření

Na samém počátku 20. století narazili tehdejší vědci na zajímavý úkaz a to samovolné vybíjení i dobře izolovaných elektroskopů. Tento jev byl objasněn vodivostí vzduchu, která je možná díky nezneutralizovaným iontům. Ty vznikají při reakcích právě ionizačního záření se vzduchem. Již v této době se o takovém záření vědělo a za jeho zdroj byla považována Země. To platilo až do roku 1910, kdy Theodor Wulf vylezl s elektroskopen na vrchol Eiffelovy věže, kde naměřil přibližně poloviční koncentraci iontů na metr čtvereční ve vzduchu než při povrchu. Dle tehdejších předpokladů měla však koncentrace iontů ve vzduchu klesat mnohem rychleji, hledal se tedy nový zdroj záření. Toto záření pak v roce 1913 naměřil Victor Hess při jeho letech balónem do výšek až 5 km. Nejenže při výstupu do výšek vyšších než byla Eiffelova věž (300 m.n.m.) klesala koncentrace iontů stále pomalu, ale od výšek již 800 m.n.m. začala jejich koncentrace stoupat a to exponenciálně.

Hessova měření pak potvrdil Robert Millikan v roce 1924, který na jejich měření již použil bezpilotní balóný nesoucí elektroskopy zaznamenávající na film. Po ujištění těchto výsledků se usoudilo, že vskutku existuje nějaké záření mimozemského původu a Millikan sám jej nazval kosmické záření. Ve zbytku 20. století se studovalo jeho složení, původ, trajektorie, kterými se díky magnetickým polím dostávají k Zemi a jeho interakce s naší atmosférou. Taková pozorování vedla k objevování nových exotických částic, která při takových interakcích vznikají. Objev kosmického záření se tak stal počátkem fyziky elementárních částic.

### Složení kosmického záření

Jak již bylo zmíněno kosmické záření interaguje se zemskou atmosférou. Tento jev rozlišuje kosmické záření na dva druhy. Jde o kosmické záření primární a sekundární.

Primární kosmické záření vzniká mimo zemskou atmosféru. U primárního záření můžeme rozlišovat částice přicházející od Slunce, tedy sluneční korpuskulární záření, a tok vysokoenergetických částic pocházející z míst mimo Sluneční soustavu. Co se týče složení, cca 98% tvoří protony a alfa částice a cca 2% tvoří beta částice, antiprotony a jádra známých prvků.

Většina naměřeného záření v nízkých nadmořských výškách je sekundární záření. Při interakcích částic záření primárního i sekundárního s atomy v atmosféře vznikají částice, které sekundární záření tvoří. Jde o neutrony, piony, miony, pozitrony a malé množství vysokoenergetických protonů. Všechny tyto částice můžeme také rozdělit na měkkou a tvrdou složku sekundárního kosmického záření.

## Šíření kosmického záření

Na počet většinová složka primárního záření je nějak nabitá. Díky nemalému magnetickému poli náležící Zemi na ně působí Lorenzova síla. Ta jejich trajektorii buď vychýlí mimo zemi nebo zapříčiní to, že jejich koncentrace závisí na zeměpisné šířce. Protože se nabitě částice pohybují právě dle magnetických siločar, tak jsou více koncentrovány na pólech než při rovníku Země. To zapříčiní častý výskyt polárních září. Ty vznikají, když částice ionizačního záření při interakcích s atomy v atmosféře excitují jejich elektrony na vyšší energetickou hladinu v obalu atomu. Ty se pak vrátí na hladiny původní a při tomto uvolní nabytou energii ve formě fotonů o charakteristické vlnové délce.

## Veličiny ochrany před zářením

Pro vyjádření škodlivosti ionizačního záření na živou hmotu je nutné prvně vyjádřit jak velkou energii určitý druh záření předal tkáni. Takové energii vůči hmotnosti v objemu, ve kterém byla předána, se říká absorbovaná dávka. Značí se  $D$  a její přesná definice je podíl střední sdělené energie  $d\bar{\epsilon}$  předané ionizujícím zářením látce o hmotnosti  $dm$  v malém prostoru, tedy

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}.$$

Jednotkou absorbované dávky je Gray a značí se  $[D] = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Každý druh ionizačního záření může s hmotou interagovat jinak a každý druh tkáně v organismu jím může být různě ovlivněn. To je dáno tím, že každá tkáň je různě hustá a její buňky jsou záření více nebo méně náchylné. Pro buňku je záření nejvíce nebezpečné při jejím dělení a proto jsou nejvíce zranitelná hlavně často se obnovující tkáně. Pro popsání účinků ionizačního záření na organismus se zavádí efektivní dávka  $E$ . Lze vypočítat jako

$$E = \sum_T \sum_R w_R w_T \cdot D_{T,R},$$

kde se sčítá přes všechny tkáně nebo orgány  $T$  a všechny druhy ionizujícího záření  $R$ . Samotný sčítanec je absorbovaná dávka  $D_{T,R}$  orgánem  $T$  způsobená zářením  $R$  přenásobená koeficienty  $w_R$  a  $w_T$ , které postupně určují jak moc dané záření  $R$  působí na organismus a jak moc nebo málo je orgán či tkáň  $T$  vůči ionizujícímu záření náchylná. Jednotkou efektivní dávky je Sievert  $[H] = 1 \text{ Sv}$ . Pokud by váš organismus absorboval dávkový ekvivalent v jednotkách sievertů, pak by taková dávka pro vás byla fatální. Krátkodobé dozimetrie jako je kupříkladu tato se často zabývají pouze dávkami v řádech  $\mu\text{Sv}$  či  $\text{mSv}$ .

Efektivní dávka samotná opravdu měřit nedá, protože vychází pouze z odhadů na množství absorbované dávky. Pro odhad efektivní dávky na organismus v jistém prostředí se zavádí dávkový ekvivalent  $H$ . Ten se zavádí více způsoby. Zde bude použit konkrétně dávkový ekvivalent  $H^*(10)$ . Ten udává efektivní dávku způsobenou zářením v kouli aproximující lidské tělo v hloubce 10 mm tkáně. Náš detektor byl kalibrován tak, že jsme tuto hodnotu byli schopni spočítat jako

$$H^*(10) = k_{\text{low}} D_{\text{low}} + k_{\text{neut}} D_{\text{neut}},$$

kde  $D_{\text{low}}$  je celková deponovaná dávka nízkoenergetických částic. Nízkoenergetické částice jsou ty, které v detektoru zanechaly energii menší než 1 MeV, naopak  $D_{\text{neut}}$  je celková dávka, kterou tam zanechaly částice, které samotné v detektoru zanechaly energii větší než 1 MeV. Ve většině případů jde o neutrony. Nakonec koeficienty  $k_{\text{low}} = 1,22$  a  $k_{\text{neut}} = 6,18$ , které převádí absorbovanou dávku na prostorový dávkový ekvivalent.

Počet částic absorbovaných nějakým tělesem je úměrný času vystavení. Proto je důležité si pro každou z těchto jednotek zavést náležitý výkon. Pro absorbovanou dávku to bude  $[\dot{D}] = 1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$  a pro dávkový ekvivalent  $[\dot{H}^*(10)] = 1 \text{ Sv} \cdot \text{s}^{-1}$ . Ten bude pro tuto práci důležitější.

## Detector Liulin

Jde o jde o aktivní polovodičový detektor právě pro měření radiační zátěže. Původně byli detektory Liulin vyvíjeny na měření radiační zátěže na palubě kosmických lodí. Dnes hlavně slouží na měření radiační zátěže na palubě letadel a u stínění urychlovačů.

Jak už bylo zmíněno jde o aktivní polovodičový detektor. To znamená, že se něm nachází aktivní objem křemíku, který zde funguje jako fotodioda pro vysoko energetické částice. Tato dioda je zapojena v závěrném směru. Při zachycení částice v aktivním objemu detektoru v něm vznikne pár elektron-díry, které se následovně vybíjí. Dle množství náboje lze vypočítat energii zachycené částice.

Dle energie zachycené částice je detektor Liulin řadí do 256 kanálů. Každý kanál má rozsah 81,3 keV. Detektor pak zaznamenává počet částic za zberný čas 10 s.

## Popis měření

Další veličinou, kterou jsme určovali, byla absorbovaná dávka  $D$ . Ta se spočítá jako celková deponovaná energie částic v detektoru ku celkové hmotnosti křemíkové části detektoru, který právě zachytává částice. Hmotnost křemíku v detektoru Liulin je výrobcem udaných  $m_{\text{Si}} = 1,398 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ .

Dvojice těchto detektorů byla podrobena dvěma letům do výšky cca 4,6 km společně s pilotem letadla L-410 a skupinou parašutistů.

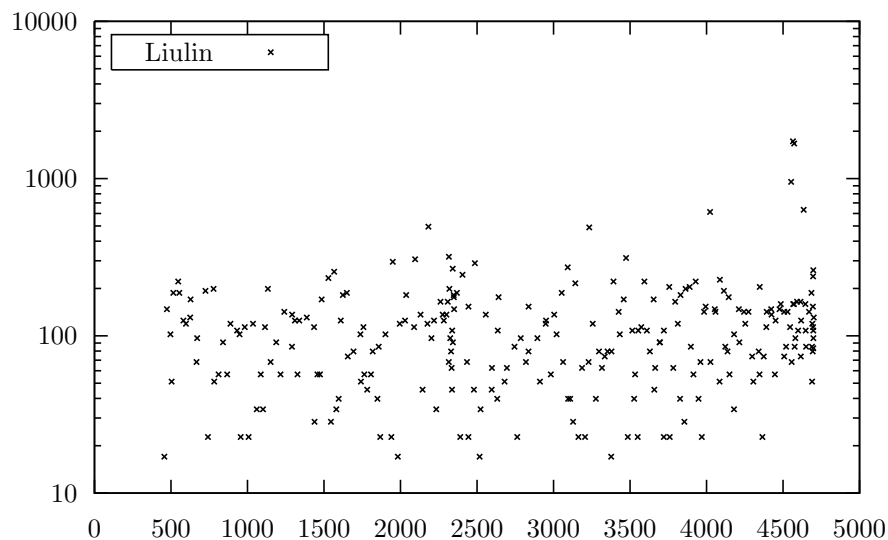
## Výsledky

Z detektorů jsme získali data počtu částic z různých energetických kanálů. Z těchto dat jsme byli schopni spočítat prostorový dávkový ekvivalent, který detektory zaznamenaly za každý let. Po jejich zprůměrování jsme dosáhli prostorového dávkového ekvivalentu za průměrný let Pilot sportovního letadla za jeden měsíc absolvuje asi 300 letů. Při neopatrné extrapolaci tohoto průměrného prostorového dávkového ekvivalentu na celý rok zjistíme, že takový pilot za rok pouze při svých letech dostane efektivní dávku vyjádřenou ročním prostorovým dávkovým ekvivalentem

$$\dot{H}^*(10) = 0,482 \text{ mSv/y}.$$

Tato hodnota je zhruba poloviční oproti hodnotě, při níž jsou piloti dopravních letadel dle zákona upozorněni na to, že ji přesáhli.

Dále jsme z dat byli schopni sestavit graf závislosti prostorového dávkového ekvivalentu změřeného detektorem Liulin za 10 s na výšce. Získanými daty jsme proložili exponenciální křivku, která je zde značena čárkovaně. Pro porovnání jsme uvedli křivku stejného významu vypočtenou programem EXPACS. Tento program v závislosti na geografické poloze a nadmořské výšce dokáže vypočítat energetické spektrum různých částic kosmického záření a tedy i určit hledaný prostorový dávkový ekvivalent za čas.



Na začátku práce jsme si stanovili jako cíl porovnat absorbovanou dávku kosmického záření pilotů dopravních a sportovních letadel během výkonu jejich povolání. Zjistili jsme, že pilot sportovního letadla je vystaven několikanásobně nižší zátěži v porovnání s piloty letadel dopravních. Nejenže se nám přes značné technické problémy podařilo porovnat tyto dvě dávky, také jsme porovnali naměřená data s daty získanými z programu EXPACS, který byl speciálně vytvořen pro výpočet spekter částic v atmosféře. Dále jsme našli závislost prostorového dávkového ekvivalentu na nadmořské výšce a to jak ze změřených dat, tak i z dat, která vygeneroval EXPACS. Viditelné nesrovnalosti mezi vypočtenými a naměřenými daty mohou pocházet z nepřesností měření, spíše se však projevuje fakt, že vypočtená data nezohledňují terestriální záření.

## Závěr

V naší práci jsme se snažili porovnat radiační zatížení pilotů dopravních a sportovních letadel. Zjistili jsme, že pilot sportovního letadla je vystaven menší dávce kosmického záření než pilot dopravního letadla, který létá asi ve dvojnásobné výšce. Pilot sportovního letadla je během roku podroben prostorovému dávkovému ekvivalentu asi 0,482 mSv, zatímco takový průměrný pilot dopravního letadla České nebo Slovenské společnosti je za jeden rok podroben dávce asi 1,346 mSv. Chtěli bychom poděkovat především naší supervisorce Ing. Dáše Kyselové za neoceňitelnou pomoc a ochotu při řešení mnohých problémů a úskalí našeho projektu. Moc děkujeme také celému organizačnímu týmu Týdne vědy na Jaderce 2016 za možnost zúčastnit se měření kosmického záření.

## Reference

## Reference

- [1] KYSELOVÁ D.: Radiační zátěž posádek letadel. Praha, 2013. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská. Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření.