Vertikální dozimetrické měření elektrického výboje indukovaného vysokonapěťovým generátorem

D. Štěpánová^{a, b, *}, J. Mikeš^c, V. Štěpán^a, M. Krbal^d, <u>O. Ploc</u>^a ^aOddělení dozimetrie záření, Ústav jaderné fyziky AV ČR, v.v.i., Praha ^bKatedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze °Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze ^dFakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně *<u>stepanova@ujf.cas.cz</u>

Marco Grünewald/<u>CC BY-SA 3.0</u>





Vysokoenergetické atmosférické jevy Radiační zátěž posádek letadel

Terrestrial gamma-ray flashes (TGFs)

- pouze 0,01–1 % blesků produkuje TGFs
- Energetický rozsah až do 40 MeV
- Efektivní dávka až do 0,1 Sv

Terrestrial neutron flashes (TNFs)

- Méně než 1 % TGFs produkuje TNFs
- Energetický rozsah 0,01 eV až desítky MeV
- Efektivní dávka až do 0,5 mSv







Vysokonapěťový impulzní generátor v Brně, fotografie M. Krbal

Data z literatury

Vysokonapěťový impulzní generátor

 Pozitivní/negativní výboj, napětí 0,8– 1,1 MV, typ vlny 1,2/50 µs, vzdálenost elektrod 0,7–1,2 m od uzemněné roviny









Vysokonapěťový impulzní generátor v Brně, fotografie M. Krbal

Data z literatury Detekce

Fotony

 Nal(TI) scintilátor, plastický scintilátor, LaBr₃(Ce+), BaF₂ scintilátor, LiF termoluminescenční detektory

Neutrony

 CR-39, plastický scintilátor, ³He termální neutronový čítač







Agafonov et al. 2013

https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.115003

Data z literatury Výsledky

Fotony

- Celková deponovaná energie od keV po několik MeV na výboj v detektoru umístěném 1 m od elektrody
- Emise fotonů byla detekována ze 70 % z negativních výbojů a 10 % z pozitivních výbojů

Neutrony

- Energeticky rozsah od termálních neutronů do 10 MeV
- Rychlé neutrony tvořily značnou část celého toku
- Korelace s detekcí fotonů







Laboratorní uspořádání experimentu



Kyselová et al. 2020 https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2020.106420

BGR Horizontální dozimetrické měření

Vysokonapěťový impulzní generátor

 400 negativních výbojů, napětí 0,9 MV, celková energie 80 kJ, typ vlny 1,2/50 μs, vzdálenost elektrod 1 m od uzeměné roviny

Detektory

 CaSo₄:Dy, LiF:Mg:Ti (tři typy s různým poměrem ⁶Li a ⁷Li: MTS-6, MTS-7 a MTS-N)

Výsledky

- Detekovali jsme přítomnost fotonů a termálních neutronů v radiačním poli vysokonapěťového impulsního generátoru
- Statisticky významné navýšení absorbované dávky na hrotu elektrody pro všechny typy detektorů a ve vzdálenosti 1 m pro všechny typy MTS detektorů
- Maximální absorbovaná dávka od fotonů byla 0,6 ± 0,3 mGy
- Maximální absorbovaná dávka (gama-ekvivalent) od neutronů byla 1,0 ± 2,0 mGy







https://github.com/ODZ-UJF-AV-CR/3D-print/tree/master/TLDholder

3D tištěný úchyt

- Rozměr 5,2×5,2×0,4 cm³, vrchní tloušťka víka 0,12 cm
- PolyMaxTM PLA 3D filament (70–100 % poly(lactic) acid) resin and 0-30 % acrylic polymer(s))

Vertikální dozimetrické měření Detektory

CaSo_{4:}Dy

- Fotony
- Annealing (380 °C/20 min), vyčítání (280 °C/25 s), kalibrace (5 mGy s ⁶⁰Co)

LiF:Mg:Ti

- Tři typy s různým poměrem ⁶Li a ⁷Li (MTS-6, MTS-7) a MTS-N)
- Fotony a termální neutrony
- Annealing (400 °C/60 min a pak 100 °C/120 min), ohřev (140 °C/15 min), vyčítání (280 °C/25 s), kalibrace (5 mGy s ⁶⁰Co)







Laboratorní uspořádání experimentu, fotografie J. Mikeš

Vertikální dozimetrické měření Vysokonapěťový impulzní generátor

 400 negativních výbojů, napětí 0,9 MV, celková energie 80 kJ, typ vlny 1,2/50 μ s, vzdálenost elektrod 1 m od uzemněné roviny





Výsledky

	D [μGy] (μ1)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ1 = μ2	Hypotéza μ1 > μ2
Hrot elektrody	1,2 ± 0,8	$1,0 \pm 0,8$	5,8	FALSE	TRUE
0,75 m	0,15 ± 0,06	$-0,01 \pm 0,07$	-0,6	TRUE	FALSE
0,5 m	0,20 ± 0,05	$0,04 \pm 0,06$	2,8	FALSE	TRUE
0,25 m	0,16 ± 0,04	0 ± 0,06	0	TRUE	FALSE
Zemnici elektroda	0,17 ± 0,03	0,01 ± 0,05	0,9	TRUE	FALSE

Hodnota pozadí D = (0,16 \pm 0,04) mGy (μ 2)

MTS-N

	D [μGy] (μ1)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ1 = μ2	Hypotéza μ ₁ > μ ₂
Hrot elektrody	$1,4 \pm 0,4$	$-0,1 \pm 0,5$	-0,9	TRUE	FALSE
0,75 m	1,8 ± 0,5	$0,3 \pm 0,6$	2,3	FALSE	TRUE
0.5 m	1,5 ± 0,3	$0 \pm 0,4$	0	TRUE	FALSE
0,25 m	1,7±0,5	$0,2 \pm 0,6$	1,5	TRUE	FALSE
Zemnici elektroda	2,1±0,6	$0,6 \pm 0,7$	4,0	FALSE	TRUE

Hodnota pozadí D = (1,5 \pm 0,3) mGy (μ 2)

	D [μGy] (μ₁)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ1 = μ2	Hypotéza μ1 > μ2
Hrot elektrody	3,2 ± 1,0	1,8 ± 1,0	5,9	FALSE	TRUE
0,75 m	$2,4 \pm 0,8$	$1,0 \pm 0,8$	4,0	FALSE	TRUE
0.5 m	1,9 ± 0,5	$0,5 \pm 0,5$	3,2	FALSE	TRUE
0,25 m	2,7 ± 0,9	$1,3 \pm 0,9$	4,7	FALSE	TRUE
Zemnici elektroda	1,9 ± 0,4	$0,5 \pm 0,5$	3,9	FALSE	TRUE

MTS-6

Hodnota pozadí D = $(1,4 \pm 0,2)$ mGy (µ2)

MTS-7

	D [μGy] (μ1)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ ₁ = μ ₂	Hypotéza μ ₁ > μ ₂
Hrot elektrody	$2,0 \pm 0,6$	$-0,3 \pm 0,8$	-1,2	TRUE	FALSE
0,75 m	2,1 ± 0,6	$-0,2 \pm 0,8$	-0,8	TRUE	FALSE
0,5 m	$2,2 \pm 0,5$	$-0,1 \pm 0,7$	-0,4	TRUE	FALSE
0,25 m	2,1 ± 0,7	$-0,2 \pm 0,9$	-0,7	TRUE	FALSE
Zemnici elektroda	2,5 ± 0,7	$0,2 \pm 0,9$	0,7	TRUE	FALSE

Hodnota pozadí D = $(2,3 \pm 0,5)$ mGy (µ2)



Výsledky

	D [μGy] (μ1)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ1 = μ2	Hypotéza μ1 > μ2
Hrot elektrody	1,2 ± 0,8	1,0 ± 0,8	5,8	FALSE	TRUE
0,75 m	0,15 ± 0,06	$-0,01 \pm 0,07$	-0,6	TRUE	FALSE
0,5 m	0,20 ± 0,05	0,04 ± 0,06	2,8	FALSE	TRUE
0,25 m	0,16 ± 0,04	$0 \pm 0,06$	0	TRUE	FALSE
Zemnici elektroda	0,17 ± 0,03	0,01 ± 0,05	0,9	TRUE	FALSE

Hodnota pozadí D = (0,16 \pm 0,04) mGy (μ 2)

MTS-N

	D [μGy] (μ1)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ1 = μ2	Hypotéza μ ₁ > μ ₂
Hrot elektrody	$1,4 \pm 0,4$	$-0,1 \pm 0,5$	-0,9	TRUE	FALSE
0,75 m	1,8 ± 0,5	0,3 ± 0,6	2,3	FALSE	TRUE
0.5 m	1,5 ± 0,3	$0 \pm 0,4$	0	TRUE	FALSE
0,25 m	1,7±0,5	$0,2 \pm 0,6$	1,5	TRUE	FALSE
Zemnici elektroda	2,1±0,6	0,6 ± 0,7	4,0	FALSE	TRUE

Hodnota pozadí D = (1,5 \pm 0,3) mGy (μ 2)

	D [μGy] (μ1)	D [μGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ1 = μ2	Hypotéza μ1 > μ2
Hrot elektrody	3,2 ± 1,0	1,8 ± 1,0	5,9	FALSE	TRUE
0,75 m	2,4 ± 0,8	1,0 ± 0,8	4,0	FALSE	TRUE
0.5 m	1,9 ± 0,5	0,5 ± 0,5	3,2	FALSE	TRUE
0,25 m	2,7 ± 0,9	1,3 ± 0,9	4,7	FALSE	TRUE
Zemnici elektroda	1,9 ± 0,4	0,5 ± 0,5	3,9	FALSE	TRUE

MTS-6

Hodnota pozadí D = (1,4 \pm 0,2) mGy (μ 2)

MTS-7

	D [μGy] (μ1)	D [µGy] bez pozadí	T-test	Hypotéza μ ₁ = μ ₂	Hypotéza μ ₁ > μ ₂
Hrot elektrody	$2,0 \pm 0,6$	$-0,3 \pm 0,8$	-1,2	TRUE	FALSE
0,75 m	2,1 ± 0,6	$-0,2 \pm 0,8$	-0,8	TRUE	FALSE
0,5 m	2,2 ± 0,5	$-0,1 \pm 0,7$	-0,4	TRUE	FALSE
0,25 m	2,1 ± 0,7	$-0,2 \pm 0,9$	-0,7	TRUE	FALSE
Zemnici elektroda	2,5 ± 0,7	$0,2 \pm 0,9$	0,7	TRUE	FALSE

Hodnota pozadí D = $(2,3 \pm 0,5)$ mGy (µ2)





Hrot elektrody vysokonapěťového impulzního generátoru v Brně, fotografie M. Krbal



- Detekovali jsme přítomnost fotonů v radiačním poli výboje ve vzduchové mezeře mezi elektrodami vysokonapěťového impulzního generátoru
- Satisticky významné navýšení absorbované dávky pro všechny pozice u MTS-6, na hrotu elektrody a ve vzdálenosti 0,5 m pro CaSo4, zemnicí elektrodě a ve vzdálenosti 0,75 m pro MTS-N
- Maximální absorbovaná dávka od fotonů byla 1,8 ± 1,0 mGy



