Monte Carlo simulace sběru iontů polonia v elektrickém poli pro účely diagnostiky zařízení měřicího objemovou aktivitu radonu Dny radiační ochrany

Autor:

Ing. Martin Kaschner (kaschner.martin@tesla.cz)
Spoluautoři:

Ing. Michal Marčišovský Phd., Ing. Pavel Staněk, Ing. Peter Švihra, Ing. Vladimír Kafka

9.11.2021

Úvod – Elektrostatická Kolekce Polonia

2 Simulace sběru polonia

- Model Pohyb
- Model Geometrie a elektrické pole
- Model Generování částic
- Model Ukončení simulace

Ovýsledky simulací

- Původní zařízení
- Modifikované zařízení
- Výsledky

EKPo – Elektrostatická Kolekce Polonia

- Zařízení měřicí objemovou aktivitu radonu
- PH32 segmentovaná křemíková dioda + čip na zpracování signálu
- Sběr a detekce ²¹⁸Po vzniká v 88 % případech kladně nabité¹
- Studium kolekce polonia



1 Goldstein, S. D.; Hopke, P. K. Environmental neutralization of polonium-218 Environmental Science & Technology, 1985 🖅 + 4 😇 + 4 🗟 + 5 🤤 🔊 🔍

Model – Pohyb

Numerické řešení v n+1 bodech

$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + \mathbf{K}(\mathbf{x}_i, \Delta t, \mu) + \mathbf{y}(\Delta t, D)$$

Drift

$$\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{x}}{\mathrm{d}t} = \frac{\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x})\mu}{p}$$

Řešeno Runge-Kuttovou metodou 4. řádu – $\boldsymbol{K}(\boldsymbol{x}_i, \Delta t, \mu)$

d

Difúze

$$\frac{|n(x,t)|}{n_0} = \frac{1}{(4\pi Dt)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dx$$

Řešeno náhodným posunem z Gaussova rozdělení – $y(\Delta t, D)$

Závislost D (a μ) na parametrech prostředí



²K. D. Chuf and P. K. Hopke, "NeutralizationKinetics for Polonium-218,"Environmental Scienceand Technologyvol. 22, no. 6, 1988.

Ing. Martin Kaschner

DRO - Simulace sběru iontů Po

9.11.2021 5 / 20

³A. Busigin, A. W. Van der Vooren, J. C. Babcock, C. R. Phillips, "The nature of unattached RaA(218Po) particles,"Health Physics1981. 📃 🕓 🤤 🔊 🔍

Model – Geometrie a elektrické pole

- EKPo polokoule r = 5 cm
- Vnitřní strany a část dna (r=3 cm) pokryto vodivým lakem (grafit)
- Sběrné napětí napojené na vodivý lak
- Bias napětí na senzoru vnitřní strana 0 V, vnější strana -150 V
- Elektrické pole vzniká mezi sběrným napětím a napětích na senzoru, generováno zvlášť



- Rozšíření grafitové vrstvy
 - Podle simulací zanedbatelný vliv
- Posunutí PH32 blíže k podstavě polokoule
 - Původní detektor z geometrických důvodů byl relativně daleko od podstavy
 - Zásadní úprava
- Použití sklonu dna
 - Odstranění prostoru s nízkou intenzitou elektrického pole



9.11.2021 7 / 20

- Rovnoměrně vznikající Po
- Zjednodušení geometrie na cylindrickou
- Transformace ze 3D do 2D
 (k,l,m) -> (x, y)
- Vzdálenost od osy: $x = \operatorname{sgn}(k)\sqrt{k^2 + l^2}$
- Výška: y = m



Obrázek: Ukázka generovaných částic

9.11.2021 8 / 20

- Přeměna Po exponenciální rozdělení
 - $e^{-\lambda t}$
 - $T_{1/2} = 3,1 \min$
- Náraz Po na stěnu/senzor ztráta/sebrání částice
 - Částice mimo geometrické meze
- Neutralizace zanedbána

Výsledky simulace



Výsledky simulace – Účinnost sběru iontů Po

- U sběrné napětí
- Účinnost sběru iontů poměr počtu částic dopadlích na křemíkový senzor a celkového počtu vygenerovaných částic
- Hustota vzorkování el. pole souvisí s jemností generovaného pole elektrické intenzity pro výpočet pohybu iontu



Účinnost sběru iontů – Nový design





9.11.2021 12 / 20

DRO - Simulace sběru iontů Po

Účinnost sběru iontů – Vliv změna objemu zařízení



- Účinnost sběru iontů (44 \pm 3) % ve staré
- Účinnost sběru iontů (90 \pm 3) % v nové geometrii
- Odhadované dvojnásobné zlepšení
- Částečně potvrzené experimentálně (v autorově diplomové práci)



୬ବ୍ଦ

◆□ → ◆□ → ◆臣 → ◆臣 → □ 臣

Radon a Polonium

Radon (²²²Rn)
•
$$T_{1/2} = 3.8 c$$

•
$$E_{\alpha} = 5,4$$
 MeV

Polonium (²¹⁸Po)

- $T_{1/2} = 3,1 \text{ min}$
- $E_{\alpha} = 6,002 \text{ MeV}$
- $\bullet~{\rm Z}$ 88 % vzniká kladně nabitý iont $^{218}{\rm Po}^+$
 - $\mu = 1,86 \text{ cm}^2 \text{atm/sV}$
 - $D = 0.04 \text{ cm}^2/\text{s}$

$$k_1 = \mathbf{E}(\mathbf{x}_i)\mu\Delta t$$

$$k_2 = \mathbf{E}(\mathbf{x}_i + \frac{\mathbf{k}_1}{2})\mu\Delta t$$

$$k_3 = \mathbf{E}(\mathbf{x}_i + \frac{\mathbf{k}_2}{2})\mu\Delta t$$

$$k_4 = \mathbf{E}(\mathbf{x}_i + \mathbf{k}_3)\mu\Delta t$$

$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + \frac{\mathbf{k}_1}{6} + \frac{\mathbf{k}_2}{3} + \frac{\mathbf{k}_3}{3} + \frac{\mathbf{k}_4}{6} = \mathbf{x}_i + \mathbf{K}(\mathbf{x}_i, \Delta t, \mu).$$

9.11.2021 17 / 20

◆□▶ ◆□▶ ◆ □▶ ◆ □▶ ● □ ● ● ●

(1)

S ionty, které vznikají v důsledku ionizace způsobené rad. přeměnou

$$R=A\sqrt{C_{\mathsf{Rn}} au/lpha}=AC^{-}=a\sqrt{C_{\mathsf{Rn}}}+b$$

v atmosféře s oar 100 ${\rm Bq/m^3}$ je neutralizační rychlost 0.19 ${\rm s^{-1}}$

(2)

Neutralizace v důsledku srážky s ionty přirozeně vyskytující se v atmosféře H₂O a NO₂

$$\begin{split} R_{\rm H2O} &= 1,14 \sqrt{C_{\rm H2O}} & \mbox{ pro } C_{\rm H2O} \leq 1800 \mbox{ ppm} \\ R_{\rm H2O} &= 47,9 & \mbox{ pro } C_{\rm H2O} > 1800 \mbox{ ppm}, \end{split}$$

(3)

Přesun elektronu z neutrální molekuly na iont z důvodu rozdílu elektronových potenciálů

$$R_{\rm NO2} = 1,15C_{\rm NO2},\tag{4}$$

Pro NO₂ 16,7 \pm 4,9 ppb je rychlost neutralizace $R_{NO2} = 19.2\pm5.6$ s⁻¹.