

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

34 956

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01T 1/12

(2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2020-37719**
(22) Přihlášeno: **25.06.2020**
(47) Zapsáno: **30.03.2021**

(73) Majitel:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, Libeň, CZ

(72) Původce:
Ing. Vojtěch Stránský, Dolní Břežany, CZ
Ing. Valeria Istokskaia, Dolní Břežany, CZ
Roberto Versaci, Ph.D., Dolní Břežany, CZ
Lorenzo Giuffrida, Ph.D., Dolní Břežany, CZ
Ing. Veronika Olšovcová, Ph.D., Dolní Břežany,
CZ
Daniele Margarone, Ph.D., Dolní Břežany, CZ

(74) Zástupce:
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i./CITT, Karel Bauer,
Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany

(54) Název užitého vzoru:
Segmentovaný kalorimetr

Segmentovaný kalorimetr

Oblast techniky

5

Předkládané technické řešení se týká detekce ionizujícího záření, konkrétně detektoru ionizujícího záření, konkrétněji segmentovaného kalorimetru vhodného pro použití jako elektromagnetického a/nebo hadronového kalorimetru v silných elektromagnetických polích, výhodněji elektromagnetických pulzních polí.

10

V dalším provedení se předkládané technické řešení týká zařízení obsahující výše uvedený kalorimetr, přičemž zařízení je uzpůsobeno k určení dávek ionizujícího záření.

Dosavadní stav techniky

15

Segmentovaný kalorimetr je detektor ionizujícího záření, který se obvykle skládá z několika vrstev, např. střídající se vrstvy absorbéru a aktivního média, který může být např. scintilační materiál. Kalorimetr využívá úplnou absorpci dopadající částice nebo spršky částic k určení její původní energie, hybnosti, a tudíž i polohy.

20

V případě homogenních kalorimetrů je absorbér ionizujícího záření rovněž aktivním médiem, který přenáší optický signál do vyčítací elektroniky. V případě segmentovaného kalorimetru 1 se střídají detektory ionizujícího záření, tj. aktivní média 11 přenášející optický signál s absorbéry, tak jak je znázorněno na obr. 1. Jednotlivé vrstvy mohou mít různou šířku, vhodně zvolenou podle druhu a energie dopadající částice. Detektory mohou být dále různého druhu, obvykle dělené podle skupenství aktivního materiálu, např. pevnolátkové detektory, jako např. scintilátory nebo polovodičové detektory.

25

Původní částice dopadající na povrch kalorimetru často vytváří spršku sekundárních částic, které se následně absorbují v tomto detektoru. Energie, resp. počet, částic je úměrná množství deponovaného ionizujícího záření v materiálu aktivního media.

30

Jako aktivní medium kalorimetru mohou sloužit scintilační materiály. Scintilační detektory převádějí absorbovanou energii ionizujícího záření na energii fotonů náležejících zpravidla do viditelné krátkovlnné nebo blízké ultrafialové oblasti spektra, které lze detekovat kamerou. Obecně se scintilační materiály třídí podle skupenství (kapalné, plynné, pevnolátkové) a chemického složení (anorganické, organické – plastické, ...).

35

Intrinsický anorganický scintilátor je takový druh scintilátoru, který je anorganického složení a neobsahuje příměsi (dopanty).

40

V současné době se kalorimetr používá zejména pro detekci ionizujícího záření pocházejícího z elektrostatičkého urychlovače nebo statických zdrojů ionizujícího záření. Takové zdroje záření poskytují ionizující záření kontinuálně. V případě pulzních zdrojů ionizujícího záření, využití kalorimetrů tak běžné není.

45

S nastupujícími technologiemi laserem řízených urychlovačů však dochází k novým technickým problémům, zejména spektroskopii ionizujícího záření, jehož časový profil je oproti záření z elektrostatičkových urychlovačů nebo statických zdrojů ionizujícího záření značně odlišný. Ionizující záření pocházející z laserem řízeného urychlovače je emitováno během jednotek pikosekund, přičemž emitovaného záření je pulzní záření a spektrum částic je mnohem širší.

50

Obecně lze rozdělit laserem řízené urychlovače do skupin podle terčů. V prvním případě je krátký pulzní vysoko-intenzivní laserový svazek zaměřen na terč sestávající se z tenké fólie

55

umístěné ve vakuové komoře. V jiném provedení může představovat terčik plyn, který se ionizuje prvním laserovým svazkem a urychlí v daném směru druhým laserovým svazkem. V obou případech dochází během urychlování k produkci fotonového ionizujícího záření, které má široké spektrum energií, obecně od jednotek keV do desítek MeV.

5

U výše uvedených laserem řízených urychlovačů pak nastává i problém s určením radiační dávky.

V současné době existují pasivní metody určení dávky pomocí termoluminiscenční dozimetrie, opticky-stimulované luminiscenční dozimetrie apod. Avšak z hlediska uvedených parametrů představuje online spektrometrie stále technický problém, zejména kvůli pasivnímu způsobu určení spektra, resp. kumulované dávky.

10

S ohledem na výše uvedené lze technický problém, který do jisté míry řeší předkládané technické řešení, formulovat jako potřebu spektroskopie fotonového ionizujícího záření, resp. určení dávky fotonového záření, které je emitováno během ultrakrátkého pulzu, přičemž spektroskopie ionizujícího záření je prováděna v reálném čase.

15

Podstata technického řešení

20

Předkládané technické řešení řeší do jisté míry výše uvedené problémy, přičemž poskytuje možnost monitorování ionizujícího záření v reálném čase i v silných elektromagnetických polích. V jistém provedení představuje technické řešení segmentovaný kalorimetr vhodný pro detekci množství dopadajících částic za jednotku vyčítacího času. Kalorimetr obsahuje množství vrstev aktivního média schopných detektovat radiační záření, přičemž podstata řešení spočívá v tom, že kalorimetr obsahuje:

25

- První část obsahující organické scintilátory, které tvoří první vrstvy segmentovaného kalorimetru. Kalorimetr je nastavitelný tak, aby svazek částic dopadal na právě tuto první část, tj. první deponování částic probíhá právě v první části.

30

- Druhou část obsahující anorganické scintilátory, které tvoří druhé vrstvy. Kalorimetr je nastavený tak, aby se v druhé části deponovaly částice, které nebyly zcela pohlceny v první části kalorimetru, tj. v organických scintilátorech, popř. sekundární částice vzniklé v první části.

35

- Každá vrstva, jak organických, tak i anorganických scintilátorů, je oddělena světlotěsnou reflektivní bariérou.

V jistém provedení lze segmentovaný kalorimetr použít jako elektromagnetický kalorimetr detekující dopadající fotonové záření. V jiném provedení lze použít předkládaný kalorimetr jako hadronový kalorimetr detekující hadronové záření.

40

Výše uvedený kalorimetr je s výhodou schopný detekovat fotonové záření v širokém rozsahu energií, např. od 100 keV do 40 MeV. Dále v případě odhadu tvaru spektra ionizujícího záření, např. Maxwell-Boltzmanovského tvaru, je možné rozlišit mezi dvěma a více těmito spektry a určit příslušný parametr odpovídající energii dopadajícího svazku, např. teplotu. Kalorimetr je dále schopný měřit ultrakrátké pulzy radiačního záření s online vyčítací elektronikou, je relativně kompaktní a odolný vůči elektromagnetickým pulzům. Kompaktnost pak dále přispívá k vhodnému umístění do experimentální komory, jako je např. vakuová komora, která obvykle poskytuje velmi omezený prostor.

45

50

Jako organické scintilační materiály lze např. volit následující: organické krystaly, organické kapaliny nebo plastické scintilátory, jako jsou např. aromatické uhlovodíkové sloučeniny, které

obsahují benzenová jádra, např. anthracen, stilben, naftalen, toluen, xylen, benzen, fenylcyklohexan, triethylbenzen a polyetylnaftalát.

Mezi organické plastové scintilátory patří například scintilátory popsané v US 20140027646.

5

Mezi vhodné anorganické scintilační materiály patří např. BGO, PbWO₄, Ce:YAG, Ce:YAP, LYSO, CsI(Tl), CdWO₄, BGO, LaBr₃, NaI(Tl), Ce:GAGG, Ce:LuAG.

10 Ve výhodném provedení představuje svazek dopadajících částic za jednotku vyčítacího času svazek částic z laserem řízeného urychlovače. Jednotka vyčítacího času je pak odvozena od vyčítací doby nejpomalejšího ze scintilátorů. Pro kombinaci plastických scintilátorů a BGO pak může v jistých provedeních představovat řádově stovky ns (pro BGO přibližně 300 ns).

15 V dalším výhodném provedení obsahuje první část alespoň tři desky organického plastického scintilátoru. Výhoda tohoto provedení spočívá v účinném odstranění elektronové složky ionizujícího záření tak, že v druhé části kalorimetru se detekuje pouze fotonová složka záření. Alternativní výhodou tohoto provedení je použití kalorimetru jako bezpečnostního prvku pro detekci elektronů, které nebyly řádně odstíněny (elektro)magnetem spektrometru.

20 V dalším výhodném provedení je anorganický scintilátor intrinsický anorganický scintilátor. Toto provedení poskytuje výhodu právě jedné kalibrace, kterou lze provádět pouze na jednom segmentu kalorimetru. Pro ostatní segmenty kalorimetru je pak možné během kalibrace převzít data. Navíc, intrinsické scintilátory saturují až při mnohem větších dávkových příkonech. Tato vlastnost poskytuje výhodu v možnosti měření velkých toků částic.

25

V dalším výhodném provedení neobsahuje kalorimetr polovodičové detektory ionizujícího záření.

30 Elektronické součásti polovodičových detektorů mohou být ovlivněny elektromagnetickým pulsem (EMP), který doprovází interakci mezi laserovým zářením a plazmatem nebo způsobeným interakcí laserového záření s terčíkem. Například, v okolí vysoko-výkonových pulzních laserů dosahují hodnoty intenzit EMP 10 kV/m. V případě, že kalorimetr neobsahuje žádné polovodičové součástky, resp. elektronické součástky, kalorimetr je tímto chráněn před zničením vlivem elektromagnetických pulzů, resp. elektronický odečet je v okolí přesnější.

35 Použitím optického výstupu, který je následovně napojen na kameru, výhodně v pouzdře odstíněném od elektromagnetického pole, je vhodným nástrojem pro vyhodnocování dat v reálném čase. Toto provedení je vhodné nejenom pro laserová centra, ale rovněž i pro kosmický výzkum anebo v leteckém průmyslu.

40 V dalším provedení se tloušťka jednotlivých scintilátorů mění v každém jednotlivém segmentu. Mění se tloušťka poskytuje výhodu detekce částic o různých energiích.

45 Další provedení předkládaného technického řešení představuje zařízení určené pro detekci ionizujícího záření a určení počtu částic a jejich energie deponovaných v jednotlivých segmentech kalorimetru podle kteréhokoliv z výše uvedených provedení. Zařízení obsahuje kalorimetr podle předkládaného technického řešení, přičemž dále obsahuje

- prostředek pro měření signálu S_i pocházejícího ze segmentu i ;
- 50 - prostředek nastavující první odhad počtu fotonů N_j o teplotě T_j , kde j je počet sad veličin;
- prostředek pro nastavení odhadové funkce $\bar{S}_i = \sum_j N_j \cdot f_i(T_j)$, kde f_i je odezвовá funkce segmentu i ; a

- prostředek pro minimalizaci funkce $\min \chi^2 = \sum_i (S_i - \bar{S}_i)^2 \rightarrow a$, kde a je prahová hodnota, výhodně 0.

5 Ve výhodném provedení zařízení odpovídá počet segmentů kalorimetru počtu předpokládaných populací fotonů.

10 V dalším výhodném provedení zařízení obsahuje prostředek pro minimalizaci funkce χ^2 pomocí metody konjugovaných gradientů. Metoda konjugovaných gradientů představuje optimalizační metodu, která s výhodou nachází minimum po i krocích. Lze tedy určit minimum funkce χ^2 s úsporou výpočetního času.

Další provedení předkládaného technického řešení představuje kalorimetr, včetně jeho výhodných provedení, určený pro detekci spršky pocházející z laserem řízeného urychlovače.

15 V dalším výhodném provedení lze jakékoliv výše uvedené provedení použít při detekci spršky částic pocházející z laserem řízeného urychlovače.

Objasnění výkresů

20 Obr. 1 představuje schématický náčrt segmentovaného kalorimetru podle stavu techniky.

Obr. 2 představuje schématický náčrt spršky ionizujících částic deponovaných v kalorimetru s vyčítací elektronikou podle předkládaného technického řešení.

25 Obr. 3 představuje schématický náčrt segmentovaného elektromagnetického kalorimetru podle předkládaného technického řešení s konkrétními rozměry.

30 Obr. 4 představuje experimentální, resp. průmyslové, využití kalorimetru podle předkládaného technického řešení pro detekci fotonového záření pocházejícího z elektronového svazku.

Obr. 5 představuje schéma algoritmu implementovaného v zařízení vhodného pro detekci ionizujícího záření pomocí segmentovaného kalorimetru podle předkládaného technického řešení.

35 Obr. 6 představuje záznam ze simulace představující depozici energie uvnitř segmentovaného kalorimetru způsobenou fotonovým svazkem o $T = 20$ MeV.

40 Obr. 7 představuje matici odezvy kalorimetru, konkrétně závislost deponované energie na teplotě T fotonového svazku a hloubce v kalorimetru.

Příklady uskutečnění technického řešení

45 Obr. 2 představuje první příklad uskutečnění segmentovaného kalorimetru 1 podle předkládaného technického řešení. Kalorimetr 1 obsahuje tři vrstvy 111 organického scintilátoru a čtyři vrstvy 112 anorganického scintilátoru. Mezi jednotlivými vrstvami 111 a 112 je umístěna světlotěsná reflektivní bariéra 12. Světlotěsná reflektivní bariéra 12 zamezuje průchodu fotonů uvolněných ze spršky 5 v daném konkrétním segmentu, konkrétněji vrstvě 111 nebo 112. Konverzní fotony se sbírají pomocí optických vláken, např. wave-length-shift vláken, a jsou odváděny do fotonásobiče 2. Každý segment je opatřen fotonásobičem 2 tak, aby konverzní fotony při dopadu na fotokatodu daného fotonásobiče 2 konvertovaly optický signál dané spršky v daném segmentu na měřitelný elektrický signál. Každý fotonásobič 2 tedy generuje elektrický signál, který je dále zpracováván vyčítací elektronikou 3. Na obr. 2 je dále zobrazen svazek 4 dopadajícího záření, jehož energie, hybnost a druh částic se detektuje. V jistých provedeních je svazek 4 dopadajícího záření fotonový

paprsek, např. RTG záření pocházejícího z laserem řízeného urychlovače. V dalším provedení může být svazek 4 svazkem RTG záření z betatronu nebo gama záření pocházející z interakce laserového záření s terčíkem. Kalorimetr 1 lze tedy použít jako elektromagnetický kalorimetr. V případě elektromagnetického kalorimetru se výhodně použijí vrstvy 111 plastického scintilátoru a vrstvy 112 BGO nebo YAP:Ce, CsI:Tl, NaI:Tl.

V jiném provedení je svazek 4 hadronovým svazek a kalorimetr 1 tedy funguje jako hadronový kalorimetr. Detekovatelný hadronový svazek 4 může být např. svazek protonů, iontů uhlíku anebo neutronů. V tomto provedení se výhodně použijí vrstvy 111 kapalného scintilátoru, jako je např. organický scintilátor zveřejněný v US 13430394. Jako vhodný anorganický scintilátor pro vrstvy 112 lze použít scintilátory zmíněné v US 9321957.

Obr. 3 představuje schématický návrh segmentovaného elektromagnetického kalorimetru 1 podle předkládaného technického řešení. Segmentovaný elektromagnetický scintilátor se skládá z

- 6 plastických scintilačních vrstev 111 o rozměrech 20 x 20 x 10 mm;
- 8 anorganických scintilačních vrstev 112 o rozměrech 20 x 20 x 5 mm;
- 5 anorganických scintilačních vrstev 112 o rozměrech 20 x 20 x 10 mm;
- 2 anorganických scintilační vrstvy 112 o rozměrech 20 x 20 x 25 mm.

Materiál plastického scintilátoru může být EJ-200 prodáváný firmou Eljen Technology chemické složení popsané v US 20140027646 o hustotě 1,032 g/cm³. Jako materiál anorganických vrstev byl zvolen BGO o hustotě 7,13 g/cm³. Mezi jednotlivými vrstvami 111 a 112 scintilátorů je světlotěsná reflektivní bariéra 12.

Rozměry jednotlivých bloků scintilátoru jsou uzpůsobeny tomu, aby vzniklá sprška částic se celá deponovala v citlivém objemu kalorimetrického bloku. Celková délka kalorimetru je 20 cm a má čtvercový průřez o hraně 2 cm. Takovéto provedení je relativně kompaktní a je možné jej umístit do vakuové komory nebo do satelitní družice nebo letadla.

Každý scintilační segment je oddělen světlotěsnou reflektivní bariérou 12 tak, aby nedocházelo k parazitickým detekcím světla ze sousedního segmentu.

Díky kalorimetru 1 je možné určit energii, hybnosti, počet částic, a i rekonstruovat směr průletu fotonů elektromagnetickým kalorimetrickým segmentem. Každá scintilační vrstva 111 a 112 je nepřímou napojena na vyčítací elektroniku 3 pomocí světlovodných vláken vedoucích k fotonásobiči 2.

Obrázek 4 představuje schématické uspořádání elektromagnetického segmentovaného kalorimetru v experimentálním uspořádání betatronu, resp. návrh využití elektromagnetického segmentovaného kalorimetru podle předkládaného technického řešení v průmyslovém využití. Elektronový svazek, který např. může představovat elektronový svazek betatronu, je vyveden do elektronového spektrometru. Elektronový spektrometr obsahuje sadu magnetů nebo elektromagnetů, které ohýbají dráhu elektronů. Vlivem změny dráhy elektronu v elektronovém spektrometru se emituje fotonové záření, tzv. brzděné záření, které je dále kolimováno pomocí kolimátoru. Kolimovaný svazek 4 fotonů dále dopadá na segmentovaný elektromagnetický kalorimetr podle předkládaného technického řešení. Prvních několik vrstev 111 organického scintilátoru, např. 3 vrstvy 111, poskytují dostatečné stínění proti elektronům, které nebyly dostatečně odstíněny v části obsahující elektromagnety nebo magnety. Ještě výhodněji neobsahuje kalorimetr 1 v oblasti depozice ionizujícího záření žádné elektronické součástky, které by mohly být ovlivněny elektromagnetickým pulzem. V takovémto příkladu uskutečnění je pak vhodné umístit vyčítací elektroniku 3 do stíněného elektromagnetického pouzdra.

V dalším příkladu uskutečnění lze nechat svazek 4 elektronů přímo dopadat na kalorimetr 1, přičemž se vhodně zvolí tloušťka a počet vrstev 111 plastických scintilátorů tak, aby celková

energie dopadajícího záření byla pohlcena v kalorimetru 1 podle předkládaného technického řešení. Tloušťku vrstev 111 a 112, jejich materiálové složení a polohu v segmentovaném kalorimetru 1 podle technického řešení lze výhodně zvolit na základě matematické simulace, např. Monte-Carlo výpočtem. Kalorimetr 1 je dále napojen na detektor světla, např. CMOS nebo CCD kameru, která monitoruje světelné záblesky pocházející z kalorimetru 1. Světelný detektor je možné dále napojit na výpočetní jednotku, resp. prostředek, obsahující počítačový program, který je schopný určit počet částic a jejich energii deponovanou v daném segmentu.

Obrázek 5 představuje část algoritmu počítačového programu implementovaného v zařízení napojeného na světelný detektor sbírající data z kalorimetru 1 podle kteréhokoliv z výše uvedených příkladů uskutečnění. Pro zjednodušení budeme nyní uvažovat o kalorimetru 1 sestávající se ze dvou segmentů. První část je tvořená z plastického scintilátoru, druhá část je pak tvořena BGO. Mezi plastickým scintilátorem a BGO je světlotěsná reflektivní bariéra 12. Pro zjednodušení budeme v následujícím příkladu uskutečnění předpokládat, že spektrum deponovaných fotonů v kalorimetru má Maxwell-Boltzmannův průběh, přičemž počet vrstev 111 a 112 v kalorimetru bude právě dva, tj. jedna vrstva 111 je tvořena plastickým scintilátorem a druhá vrstva 112 je tvořena BGO. Mezi vrstvami 111 a 112 je světlotěsná reflektivní bariéra 12.

Algoritmus v prvním kroku náhodně nastaví počet částic N_1 a jejich teploty T_1 v první populaci fotonů a náhodně nastaví N_2 a T_2 v druhé populaci fotonů. Populace fotonů odpovídá počtu fotonů deponovaných v konkrétním segmentu kalorimetru. V jistém provedení lze také zadat hodnoty N_1 , T_1 , N_2 a T_2 ručně, v případě dobrého odhadu měřeného spektra. V druhém kroku se určí odhadové signální funkce

$$\bar{S}_1 = N_1 \cdot f_1(T_1) + N_2 \cdot f_1(T_2) \text{ a}$$

$$\bar{S}_2 = N_1 \cdot f_2(T_1) + N_2 \cdot f_2(T_2) ,$$

kde f_1 a f_2 jsou hodnoty odezvové matice nebo odezvová funkce příslušející konkrétnímu segmentu kalorimetru, tj. vrstvám 111 a 112, která byla určena výrobcem, nebo byla dříve nakalibrována pomocí známého spektra. Jak bylo zmíněno výše, je možné určit odezvovou funkci i na základě porovnání experimentálního spektra.

Součástí druhého kroku je určení funkce $\chi^2 = (S_1 - \bar{S}_1)^2 + (S_2 - \bar{S}_2)^2$, kde S_i je skutečná signální funkce pocházející ze segmentu i kalorimetru podle předkládaného technického řešení.

V rámci experimentu, simulace nebo využití v průmyslovém podniku lze vhodně zvolit konstantu a , která bude odpovídat hodnotě, při které rozdíl mezi skutečným signálem S_i a odhadovou signální funkcí \bar{S}_i v segmentu i nepřekračuje mez stanovenou právě hodnotou a . V ideálním případě je $a = 0$. V tomto výhodném provedení pak signální odhadová funkce koresponduje se skutečnou odhadovou funkcí, tj. počet částic a jejich energie odpovídá skutečnosti.

Výše uvedený způsob lze zobecnit na jakýkoliv počet segmentů, který je potřeba pro konkrétní průmyslovou aplikaci.

Iterací výše uvedených kroků lze pak zjistit přibližnou hodnotu, v rámci chyby měření stanovené a , počtu částic a jejich teploty v segmentu i .

Výsledné spektrum fotonů, tj. počet částic dn o energii dE deponovaných v kalorimetru podle tohoto příkladu uskutečnění pak bude mít průběh podle rovnice

$$\frac{dn}{dE} = N_1 \exp\left(-\frac{\text{konst}}{T_1}\right) + N_2 \exp\left(-\frac{\text{konst}}{T_2}\right) ,$$

kde *konst* je konstanta.

Ve výhodném provedení, část algoritmu na obr. 5 zobrazeném na pravé straně, lze určit skutečný počet deponovaných částic a jejich teplotu pomocí metody konjugovaných gradientů. Odhadové hodnoty se po jistém kroku zastaví a odhadovaný počet a příslušná teplota se uloží do paměti počítače. Odhadové hodnoty se uloží do paměti počítače, např. ve formě vektoru $\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_k(N_1, T_1, N_2, T_2)$, kde k odpovídá k -té iteraci.

V následující iteraci se určí vektor \mathbf{x}_{k+1} , který je kolmý na předchozí vektor \mathbf{x}_k pomocí vztahu

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \alpha_k \nabla \chi^2.$$

Po jistém kroku lze iteraci ukončit, přičemž výsledný vektor obsahuje počet částic a jejich příslušné teploty.

Výše uvedená část výhodného provedení algoritmu lze zobecnit pro více než dvě sady částic a jejich teplot. Ve výhodném provedení odpovídá počet iteračních kroků výpočtu pomocí konjugovaných gradientů počtu populací fotonů a teplot, tj. v tomto případě by se dosáhlo výsledku již po dvou iteracích.

Konkrétní experimentální uspořádání je zobrazena na obr. 6, který představuje záznam ze simulace představující depozici energie uvnitř segmentovaného kalorimetru 1 způsobenou fotonovým svazkem 4 o $T = 20$ MeV. Výsledek byl získán ze simulace následující kroky způsobu podle výše uvedeného příkladu uskutečnění, přičemž první vrstva 111 byla vrstva plastického scintilátoru EJ-200, druhá vrstva 112 byla vrstva BGO.

Obr. 7 představuje matici odezvy kalorimetru 1, konkrétně závislost deponované energie na teplotě T fotonového svazku a hloubce v kalorimetru.

Průmyslová využitelnost

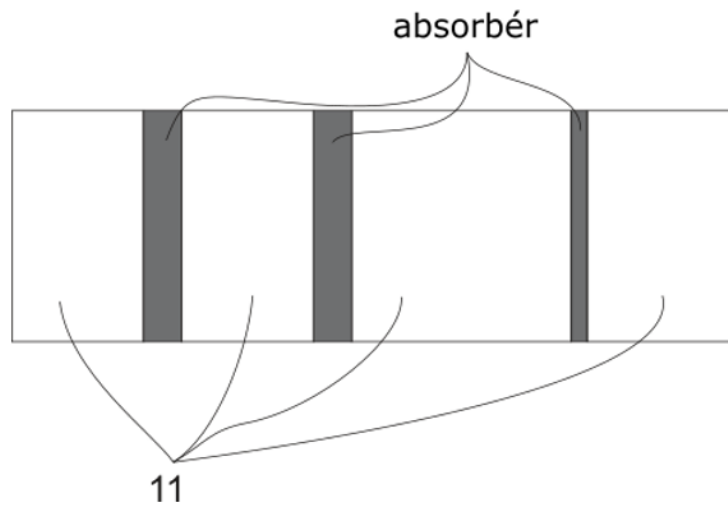
Předkládané technické řešení nachází využití ve vědeckých a výzkumných centrech zacházejících s ionizujícím zářením, nebo průmyslových podnicích požadujících informaci o ionizujícím záření. Výše uvedený kalorimetr je rovněž možné použít v leteckém průmyslu s účelem výhody odolnosti vůči silným elektromagnetickým pulzům. Kalorimetr podle předkládaného technického řešení lze použít jako elektromagnetický kalorimetr a/nebo hadronový kalorimetr.

NÁROKY NA OCHRANU

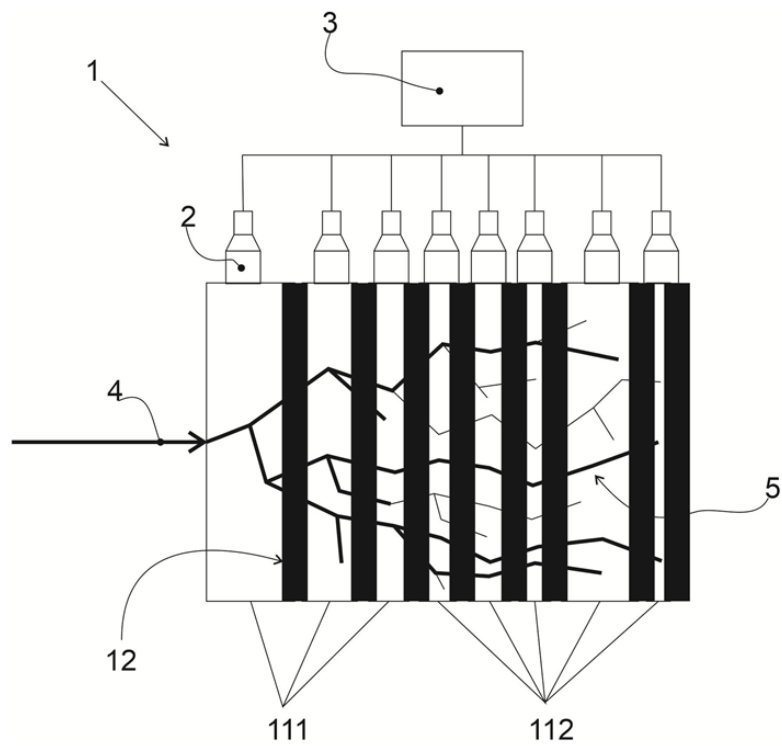
- 5 1. Segmentovaný kalorimetr (1) vhodný pro detekci svazku (4) ionizujícího záření za jednotku vyčítacího času obsahující množství vrstev (111 a 112) aktivního média schopných absorbovat radiační záření; a množství světlotěsných bariér, **vyznačující se tím**, že kalorimetr (1) obsahuje
- 10 - první část obsahující organické scintilátory tvořící první vrstvy (111), přičemž dopadající svazek (4) ionizujícího záření je nastavitelný tak, aby dopadal na první část;
a
- 15 - druhou část obsahující anorganické scintilátory tvořící druhé vrstvy (112), přičemž v druhé části se deponuje svazek (4) ionizujícího záření neabsorbovaný v první části a/nebo svazek sekundárních částic; a přičemž
- 20 - každá vrstva (111 a 112) je oddělena od sebe světlotěsnou reflektivní bariérou (12).
2. Kalorimetr (1) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že svazek (4) ionizujícího záření je svazek (4) z laserem řízeného urychlovače nebo betatronu.
- 25 3. Kalorimetr (1) podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že první část obsahuje alespoň tři vrstvy (111) organického plastického scintilátoru a druhá část obsahuje alespoň tři vrstvy (112) anorganického scintilátoru.
- 30 4. Kalorimetr (1) podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že anorganický scintilátor je intrinsický anorganický scintilátor.
5. Kalorimetr (1) podle kteréhokoli z výše uvedených nároků, **vyznačující se tím**, že světlovodivé prvky jsou napojeny na kameru, která je umístěna v elektro-magneticky stíněném pouzdru.

4 výkresy

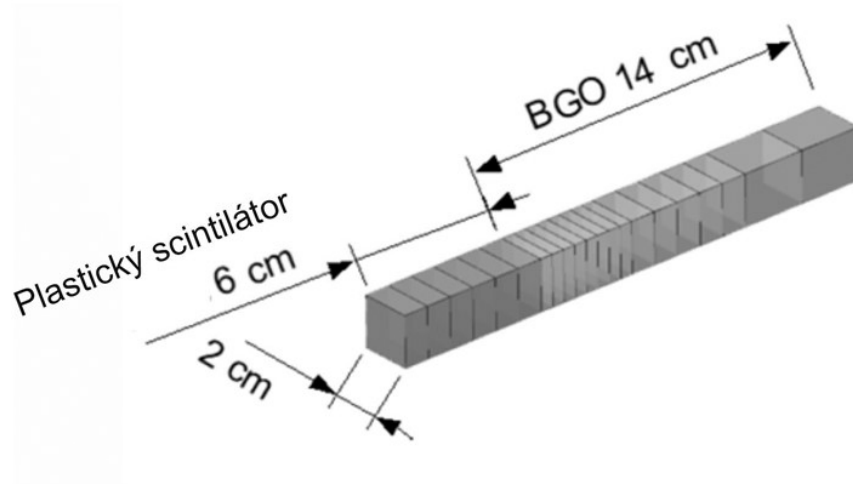
1



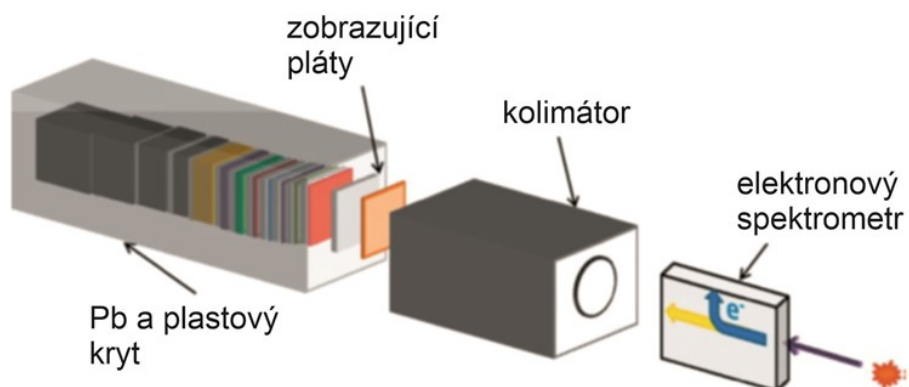
Obr. 1



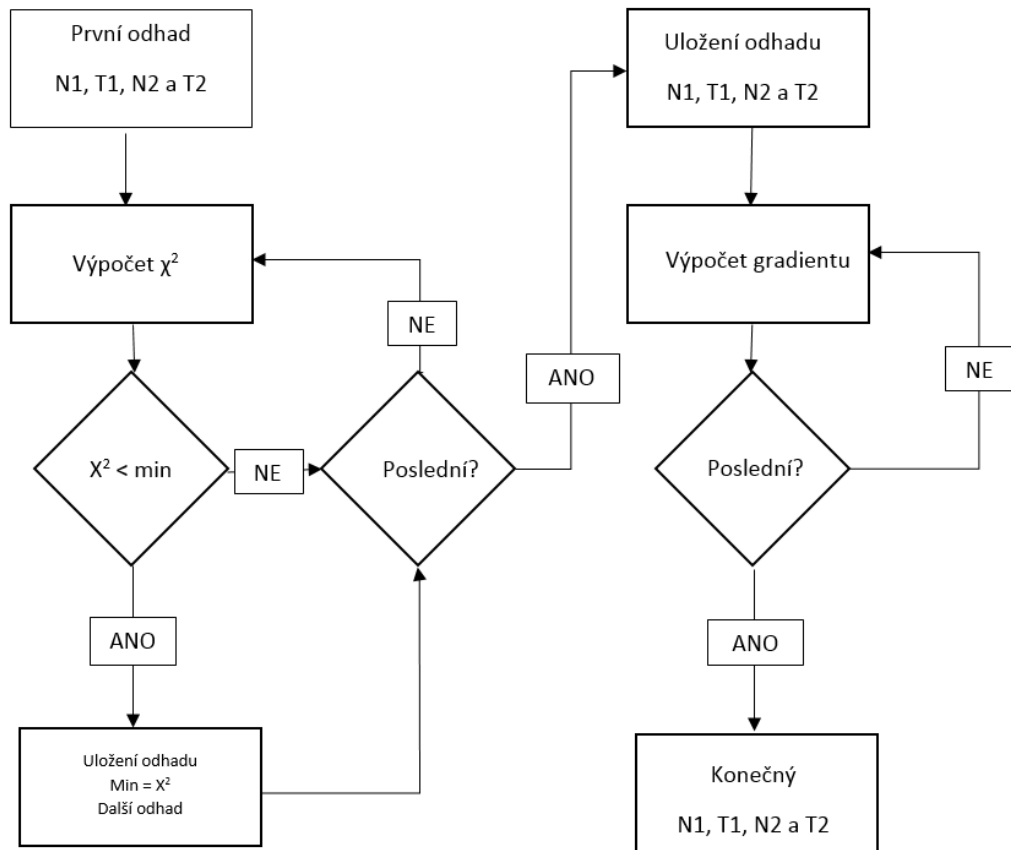
Obr. 2



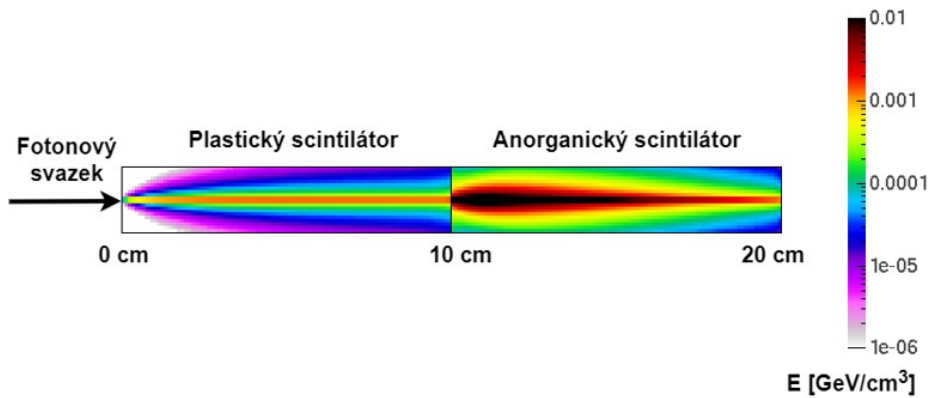
Obr. 3



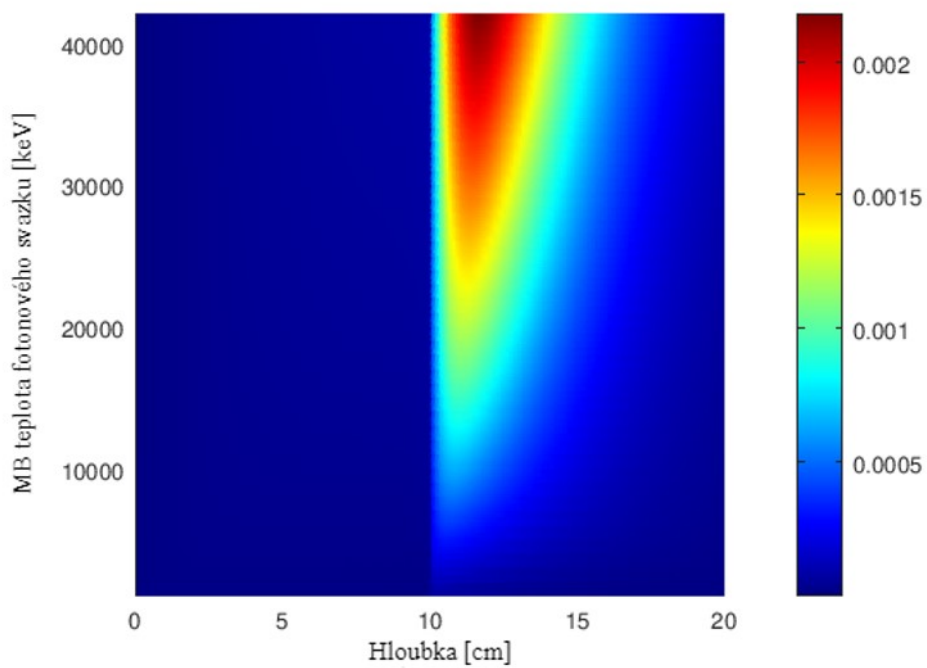
Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7