

Nagyfelbontású PET detektormodulok optikai tulajdonságainak vizsgálata és optimalizálása

PhD téziszfüzet

OCISOVAINÉ STEINBACH CECÍLIA

Témavezető: dr. Lőrincz Emőke

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Atomfizika Tanszék

2016.

A kutatás előzménye

A pozitronemissziós tomográfia (PET) napjaink egyik legkorszerűbb funkcionális orvosi képalkotási eljárása. A PET készülékek a páciens szervezetéből kilépő annihilációs γ -foton pár egyidejű térbeli detektálásával szolgáltatnak információt a radioaktív nyomjelző testen belüli eloszlásáról. A detektáláshoz nagyszámú szcintillátor kristálytűből álló mátrixokat használnak, melyekben a γ -fotonok elnyelődését követően UV/látható fotonok keletkeznek, amelyeket jellemzően a kristálmátrixhoz fényvezető rétegen keresztül kapcsolódó fotoelektron-sokszorozókkal (PMT) érzékelnek.

A készülék térbeli felbontását (és ezáltal képminőségét) alapvetően meghatározza, hogy az egyes PMT-k jeléből mekkora pontossággal sikerül azonosítani a γ -fotonokat elnyelő kristálytű-párt. Mivel a detektálásnak ebben a szakaszában optikai fotonok játszzák a kulcsszerepet, ezen fotonok terjedését és érzékelését kedvezően befolyásoló optikai megoldásokkal a képminőség javítható. A kutatás-fejlesztés költségeinek és időigényének csökkentése érdekében az utóbbi években egyre erősebb az igény olyan megbízható szimulációs modellek alkalmazására, amelyek segítségével a rendszer optikai paraméterei, valamint a lejátszódó fénytani folyamatok a valóságnak megfelelően modellezhetők.

A BME Atomfizika Tanszékén éveken át folytak a Mediso Kft-vel közös kutatások a PET detektormodulon belüli fényterjedés modellezésére és optimalizálására. Jelen doktori dolgozat is ezen együttműködés keretében jött létre.

Célkitűzések

Doktori munkám célja a PET detektormodul modellezésére szolgáló PetDetSim szimulációs programcsomag optikai modelljének javítása és kísérleti úton történő hitelesítése volt. A meglévő szimulációs környezet adta kereteken belül azt kerestem, hogy egy hiteles modell felépítése szempontjából melyek a kulcsfontosságú optikai paraméterek, és ezek hogyan építhetők be a modellbe. Céлом volt a szükséges optikai jellemzők mérése, ezen belül az irodalomban csak közvetett úton meghatározott, és ezáltal több nagyságrend hibával terhelt optikai szórási hossz mérésére új módszer kidolgozása. A PMT gyárilag megadott kvantumhatásfokának modellbe történő beépítése összetettebb számítást igényel, ehhez a PMT ablak és a fotokatód reflexióját is figyelembe vevő új módszert kívántam alkalmazni. Fontos célkitűzés volt a modell kísérleti igazolása egy könnyen reprodukálható mérésorozat segítségével, mely a szakirodalomban korábban hiányzott.

Az egyes PMT-k jeléből legegyszerűbben súlypontszámítással, az ún. Anger-módszerrel történhet a γ -fotont elnyelő kristálytű azonosítása. Munkám gyakorlati célja volt a modell alkalmazása a PET képminőségét javító optikai megoldás kidolgozására, mellyel a kristálytűk helyét az Anger-képen (az ún. Anger-pozíciót) linearizálni lehet, ezáltal a térbeli felbontás megnövelhető.

Eredményeimet négy tézispontban foglalom össze.

Új tudományos eredmények

1. A fotonok kristálytűbe záródását megakadályozó fazetta alkalmazásával, valamint a PMT fotokatód irányfüggő reflexiójának figyelembe vételével megjavítottam, és változatos kristálytű-konfigurációkat tartalmazó méréssorozat segítségével kísérletileg hitelesítettem a PET detektormodulok modellezésére használt Detect2000 környezeten alapuló PetDetSim szimulációs programcsomag optikai modelljét. [1]-[6]

2. Új módszert dolgoztam ki a fotodetektorok gyárilag megadott kvantumhatásfokának a modellezéshez szükséges átszámítására, valamint a modellbe történő beépítésére a PMT ablak és a fotokatód reflexiójának figyelembe vételével. [1, 7]

3. Új módszert dolgoztam ki a szcintillátor kristályok optikai szórási hosszának közvetlen meghatározására, mely a mért paraméterek pontosságára kevésbé érzékeny, és figyelembe veszi a fényszórás sajátosságait az adott hullámhosszon. Megállapítottam, hogy LYSO kristályokban a fényszórás a kristály emissziós tartományába eső hullámhosszokon elhanyagolható. [8, 9]

4. Megterveztem és megépítettem egy új strukturált fényvezetőt, mellyel a PET detektormodul perifériális, gyakran elkülöníthetetlen kristálytűi is felbonthatóvá tehető. A kristálytűkhöz illesztett fényeltérítő kettősprizmák alkalmazásával a korábban nemlineáris Anger-pozíció közel lineárisá tehető, és a számított pozíciók szórása is csökken. [10, 11]

Az eredmények hasznosítása

Az általam felépített modellt kollégáim, valamint a Mediso Kft. munkatársai is használják kutató-fejlesztő munkájuk során. A modellalkotás során felismert szempontok az Atomfizika Tanszéken futó FP7 projekt keretében folyó kutatómunka számára is fontos támpontot adtak. A PET detektormodulok modellezésének optikai szempontból megalapozott megközelítése a szakterületen hiánypótló.

A tézispontokhoz kapcsolódó publikációk

- [1] C. O. Steinbach, Á. Szlávecz, B. Benyó, T. Bükki, and E. Lőrincz, "Validation of Detect2000 Based PetDetSim by Simulated and Measured Light Output of Scintillator Crystal Pins for PET Detectors", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 57, No. 5, pp. 2460–2467, October 2010.
- [2] Á. Szlávecz, T. Bükki, C. Steinbach and B. Benyó, "A novel model-based PET detector block simulation approach", *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 6, No. 1, pp. 27–33, 2011.
- [3] E. Lőrincz, G. Erdei, I. Péczeli, C. Steinbach, F. Ujhelyi, T. Bükki, I. Müller, "Modeling and Optimization of Scintillator Array for PET Detectors", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 57, No. 1, pp. 48–54, February 2010.
- [4] Á. Szlávecz, B. Benyó, C. Steinbach, T. Bükki, "A novel model and an environment for PET detector block simulation", *Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Modelling and Control in Biomedical Systems*, Aalborg, Denmark, August 12–14, pp. 304–308, 2009.
- [5] E. Lőrincz, G. Erdei, I. Péczeli, C. Steinbach, F. Ujhelyi, T. Bükki, I. Müller, "Light Output Analyzes of Scintillator Crystal Pins and Array for PET Detector Modules", *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, pp. 4868–4871, Dresden, 2008.
- [6] Steinbach C., Erdei G., Péczeli I., Ujhelyi F., Lőrincz E., Bükki T., "Szcintillátor kristálytűk fényhasznosításának modellezése PET detektormodulhoz", *Kvantumelektronika*, P-5, 2008.
- [7] C. O. Steinbach, F. Ujhelyi, E. Lőrincz, "Enhanced model of quantum efficiency for the optical simulation of photodetectors", *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, pp. 2555–2558, Anaheim, 2012.
- [8] C. O. Steinbach, F. Ujhelyi, E. Lőrincz, "Measuring the Optical Scattering Length of Scintillator Crystals", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 61, No. 5, pp. 2456–2463, 2014.
- [9] C. O. Steinbach, F. Ujhelyi and E. Lőrincz, "Optical Scattering Length of LYSO Scintillator Crystals", *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Conference Record*, pp. 2353–2356, 2012.
- [10] C. O. Steinbach, G. Erdei, F. Ujhelyi, P. Major, E. Lőrincz, "Optimized Light Sharing Module for High Resolution PET Block Detectors", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 59, No. 3, pp. 507–512, 2012.
- [11] C. O. Steinbach, G. Erdei, I. Péczeli, F. Ujhelyi, T. Bükki and E. Lőrincz "Optimized Light Sharing Module for PET Block Detectors", *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Conference Record*, pp. 2817–2820, 2009.