

۱۴۹۱۹۲۹

تصویربرداری هسته‌ای پت (مقطع نگاری گسیل پوزیترون)

فیزیک، مهندسی و شرح نمونه ساخته شده در ایران

تألیف و ترجمه:

مهندس کفائی

(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود)

سیده رسوا اسلامی

(عضو هیئت علمی دانشگاه قم)

لادن شهشهانی، مجتبی حسینی

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

عنوان و نام پدیدآور	تصویربرداری هسته‌ای پت: (مقطع‌نگاری گسیل پوزیترون) فیزیک، مهندسی و شرح نمونه ساخته‌شده در ایران/ تالیف و ترجمه مهدی کفائی... [و دیگران].
مشخصات نشر	تهران: جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۲۷۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۱۹۵۰۰۰ ریال: 1-ISBN: 978-964-210-247-1
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	تألیف و ترجمه مهدی کفائی، سیده‌زهره اسلامی‌راد، لادن شهشهانی، مجتبی حسینی.
یادداشت	بخشی از کتاب ترجمه‌ی کتاب 'PET: physics, instrumentation, and scanners'، ۲۰۰۶ء اثر مایکل فلیس است.
یادداشت	واژه‌نامه.
عنوان دیگر	مقطع‌نگاری گسیل پوزیترون فیزیک، مهندسی و شرح نمونه ساخته‌شده در ایران.
موضوع	برش‌نگاری با گسیل پوزیترون -- Tomography, Emission
شناسه نزوده	فلیس، مایکل ای -- Phelps, Michael E.
شناسه افزوده	کفائی، مهدی، ۱۳۶۲ -
شناسه افزودن	جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۵ ق ۴ / RCY8V
رده‌بندی دیویی	۶۱۶/۰۷۰۷۰۲۳
شماره کتابشناسی ملی	۶۱۶/۰۷۰۷۰۲۳

این کتاب در سه نسخه ۹۵/۰۳۰۹ شورای نشر کتاب
جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل
ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار دریافت نموده است.



تصویربرداری هسته‌ای پت (مقطع‌نگاری گسیل پوزیترون)

تألیف و ترجمه: مهدی کفائی، سیده‌زهره اسلامی‌راد، لادن شهشهانی، مجتبی حسینی

ناشر: جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

مدیر مسؤول	دکتر مهدی ورسه‌ای
نوبت چاپ	اول
سال چاپ	۱۳۹۶
قطع	وزیری
شمارگان	۵۰۰ نسخه
قیمت	۱۹۵۰۰۰ ریال
طراح	آرزو انصاری
چاپخانه	اصیل



ISBN: 978-964-210-247-1

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۲۴۷-۱

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر،
انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶+ تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶+۹۸۲۱۶۶

پیشگفتار ناشر

اَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّحْدِ

توانمندی‌های پایه‌های علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور از وظایف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نظام اندکس جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. این مهم، ضمن افزایش اقتدار علمی کشور در عرصه‌های بین‌المللی؛ زمینه‌ساز استقلال اقتصادی با محوریت یافته‌های فن‌آورانه و دانش‌بنیان می‌گردد که خود از ارکان اصلی توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. هم‌چنین واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسی به اطلاعات روز علمی و تکنولوژی‌های مدرن؛ نیاز اولیه برای توانمندسازی پایه‌های علمی به‌شمار می‌رود.

بر این اساس جهادگران جهاددانشگاهی، احد صنعتی امیرکبیر با مدیریت جهادی خود علاوه بر فعالیت‌های فرهنگی، پژوهش‌های فن‌آورانه، آموزش، راه‌های تخصصی فن‌آور و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمی متخصصان و دانشگاهیان فرهیخته کشور و هم‌چنین ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنیا توسط "انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر «پلی تکنیک تهران»" که یکی از معتبرترین انتشارات دانشگاهی در حوزه علوم پایه و مهندسی می‌باشد؛ به وظیفه انقلابی و اعتقادی خویش جامه عمل پوشانده و امیدوار است بتواند نیازهای علمی پژوهشگران، دانشجویان و پیوندگان راه علم را در تحقق آرمان‌های اصیل انقلاب فراهم سازد.

این کتاب به روح پرفتوح معمار کبیر انقلاب، شهدا و ایثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ویژه شهدای گرانقدر جهاددانشگاهی و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تقدیم می‌گردد. امید است نگاهبانان و فعالین عرصه‌های علم و فناوری کشور، پیونده راه این شهیدان والا مقام همچون شهدای جهاد علمی، در محیط مقدس و انسان ساز دانشگاه باشند.

از همه عزیزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا می‌شود این انتشارات را از نظرات تخصصی و پیشنهادات راهگشای خود در جهت ارتقاء سطح علمی کتب منتشره و هم‌چنین گسترش زمینه‌های علمی آن‌ها، بهره‌مند سازند.

"هماره در پرتو الطاف الهی پیروز و سربلند باشید"

انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

مقدمه

PET: فیزیک، تجهیزات و اسکنرها

مقطع نگاری گسیل پوزیترون^۱ (PET)، یک روش تصویربرداری هسته‌ای است. در این روش از ویژگی‌های متناظر به فرد واپاشی هسته‌های پرتوزایی استفاده می‌شود که پوزیترون گسیل می‌کنند. این هسته‌ها در یک کله‌تون تولید شده و سپس برای نشان‌دار کردن ترکیباتی که از نظر زیست‌شناختی مورد توجه هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. ترکیب نشان‌دار شده (معمولاً $^{10^3}$ تا $^{10^5}$ مولکول نشان‌دار) را به صورت تزریق وریدی وارد بدن می‌کنند. چگونگی توزیع هر ترکیب در بافت را ویژگی‌های بیوشیمیایی آن تعیین می‌کند. با واپاشی رادیواکتیو در یک مولکول، یک پوزیترون از هسته خارج می‌شود. پوزیترون در نهایت متحرک به گسیل فوتون^۲ ای پراثر می‌شود. احتمال خروج این فوتون‌ها از بدن زیاد است. یک اسکنر PET، از یک سری آشکارساز ساخته شده که شیئی مورد نظر را احاطه کرده‌اند و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که هر کدام از فوتون‌های پراثر را با سیگنال الکتریکی تبدیل کنند و سپس این سیگنال به مدارهای الکترونیکی دیگر اعمال می‌شود. یک اسکن معمولی PET، بین 10^6 تا 10^9 واپاشی آشکار می‌شود، سپس چندین فاکتور تصحیح به آن اعمال می‌شود، آنگاه با استفاده از الگوریتم‌های ریاضی، تصویری از یک مقطع شیئی مورد نظر تهیه می‌شود. خروجی فاکتور تصحیح، تصویری سه بعدی به صورت حجمی است. شدت سیگنال در هر وکسل^۳ = پیکسل حجمی تعریف شده، به مقدار هسته‌ای پرتوزا در آن وکسل (و در نتیجه مقدار مولکول نشان‌دار شده با هسته‌ای رادیواکتیو) بستگی دارد. بنابراین توزیع مکانی ردیاب‌های نشان‌دار شده در بدن انسان زنده، به صورت کمی در تصویر PET، نگاشت می‌شود. با گرفتن تصاویر پشت سرهم، غلظت مولکول‌های نشان‌دار شده در بافت در صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌شود، آنگاه با استفاده از مدل‌های ریاضی مناسب، نرخ فرآیندهای زیستی مشخص را می‌توان اندازه‌گیری کرد.

هدف این کتاب، آشنا کردن فرد با جنبه‌های فیزیکی و تجهیزات PET است؛ به عنوان مثال چگونگی جمع‌آوری داده‌های PET و چگونگی تشکیل تصویر با استفاده از این داده‌ها. با مروری بر فیزیک PET و سپس بررسی دقیق تکنولوژی آشکارسازهای استفاده شده در اسکنرهای جدید PET شروع می‌کنیم.

1. Positron Emission Tomography

۲. voxel. جزء حجمی در یک آرایه تصویر سه بعدی است و متناظر با یک پیکسل در آرایه تصویر دوبعدی است.

چگونگی به دست آوردن داده‌های PET شرح داده می‌شود و فاکتورهای تصحیحی که باید اعمال شوند تا از کمی بودن داده‌ها اطمینان حاصل شود، معرفی می‌شوند. روش‌های بازسازی تصاویر حجمی سه بعدی با استفاده از داده‌های PET، و نیز برخی از روش‌های آنالیز و تعیین کیفیت تصاویر حاصل شرح داده می‌شوند، و در آخر بعضی سیستم‌های تصویربرداری جدید PET، از جمله آن‌هایی که برای استفاده‌ی کلینیکی و تحقیقاتی و نیز سیستم‌های کوچک برای تصویربرداری از حیوانات ساخته شده‌اند، و روش‌های ارزیابی عملکرد آن‌ها، بررسی می‌شوند.

www.ketab.ir

پیشگفتار

کتاب «تصویربرداری هسته‌ای پت» شامل دو قسمت ترجمه و تألیف است. بخش نخست ترجمه‌ای است از کتاب «پت؛ فیزیک، تجهیزات و اسکنرها»^۱ نوشته مایکل فلیس^۲ که از نامداران این حوزه تصویربرداری است. این کتاب دارای ۹ فصل است که طی آن اصول پایه فیزیک و مهندسی دستگاه پت شرح داده می‌شود. سعی شده ترجمه کامل انجام شود و هیچ جمله و پاراگرافی از قلم نیافتد و از این حیث، کتاب حاضر کامل‌ترین ترجمه فارسی به حساب می‌آید.

قسمت تألیفی نیز شامل توضیحات ساخت «دستگاه مقطع‌نگاری گسیل پوزیترون حیوانی IRI-micro PET» است که در سازمان انرژی اتمی ایران به همت سرکار خانم دکتر اسلامی انجام شده است. این قسمت که فصل ۱۰ تا ۱۲ را شامل می‌شود، مملو از جزئیات عملی ساخت دستگاه پت می‌باشد که بخش پیشین به صورت نصری آن را توضیح داده است. جامعیت کتاب حاضر محصول ترکیب این دو بخش است، به طوری که بسیاری از اجزای فیزیک برهمکنش نابودی و الکترونیک هسته‌ای تا شبیه‌سازی با کد GATE و الگوریتم‌های بازایمان نمودن بر آن مطرح شده‌اند. این امر باعث می‌شود تا خواننده درک روشن‌تری از دستگاه پت بیابد.

این کتاب برای مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی رشته‌های مهندسی پزشکی، فیزیک پزشکی، مهندسی پرئوپزشکی، رادیولوژی و کارورزان بالینی قابل استفاده می‌باشد.

مهدی کفائی

۱۳۹۴

1. PET, Physics, Instrumentation, and Scanners, New York: Springer, 2006.

2. Michael E. Phelps

فهرست

فصل ۱ : فیزیک گسیل پوزیترون و فرآیند نابودی.....	۱۳
۱-۱- فیزیک هسته‌ای پایه و گسیل پوزیترون.....	۱۳
۱.۳- برد پوزیترون و غیرهم‌خطی.....	۲۱
فصل ۲ : بهیم‌کنش‌های فوتون 511 keV با ماده.....	۲۷
۱.۲- برخورد و توالک یک.....	۲۷
۲.۲- پراکندگی کمیت.....	۲۸
۳.۲- سطح مقطع برهم‌کنش در مواد مختلف.....	۳۰
فصل ۳ : آشکارسازی فوتون‌های 511 keV	۳۵
۱.۳- سوسوزن‌ها.....	۳۶
۲.۳- لامپ تکثیرکننده فوتونی.....	۳۸
۳.۳- دیودهای نوری حالت جامد.....	۳۹
۴.۳- آشکارسازهای گروهی.....	۴۱
۵.۳- آشکارساز پیوسته دوربین گاما.....	۴۵
۶.۳- سایر آشکارسازهای سوسوزن.....	۴۷
۷.۳- سایر آشکارسازهای گاما.....	۵۰
فصل ۴ : جمع‌آوری داده و پیکربندی سیستم PET.....	۵۳
۱.۴- آشکارسازی هم‌زمانی.....	۵۳
۲.۴- دوربین PET: مفاهیم عمومی.....	۵۵
۳.۴- انواع رویدادها.....	۵۷
۴.۴- هم‌زمانی آنی.....	۵۹

۶۰	۵.۴. قدرت تفکیک: توابع پاسخ هم‌زمانی
۶۴	۶.۴. حساسیت: آشکارساز و بازده‌های هندسی
۶۷	۷.۴. نمایش داده‌ها- سینوگرام
۶۹	۸.۴. جمع‌آوری دو بعدی داده
۷۰	۹.۴. جمع‌آوری سه بعدی داده
۷۳	۱۰.۴. پروتوکل‌های جمع‌آوری داده
۷۷	فصل ۵: تصحیح داده
۷۸	۱.۵. نرمال‌سازی
۸۱	۲.۵. تصحیح ضعیف
۸۸	۳.۵. تصحیح رادونگی
۹۱	۴.۵. تصحیح هم‌زمانی تصادفی
۹۳	۵.۵. تصحیح زمان مرد
۹۷	فصل ۶: بازسازی تصویر
۹۸	۱.۶. پس‌نقش
۱۰۱	۲.۶. بازسازی تحلیلی: نظریه برش نقش و بازسازی پرتو مستقیم
۱۰۴	۳.۶. بازسازی تحلیلی دو بعدی: پس‌نقش فیلتر
۱۰۹	۴.۶. محدودیت‌های روش پس‌نقش فیلتر شده
۱۱۲	۵.۶. بازسازی تحلیلی سه بعدی
۱۱۷	۶.۶. روش‌های بازسازی تکرارشونده
۱۲۵	فصل ۷: تحلیل تصویر
۱۲۵	۱.۷. نمایش تصویر
۱۲۵	۲.۷. کالیبراسیون و تحلیل مکان مورد نظر
۱۲۷	۳.۷. بخش‌بندی تصویر
۱۲۹	۴.۷. انطباق تصویر

۱۳۳	۵. ۷. اثر حجم جزئی
۱۳۷	فصل ۸ : ارزیابی کارایی سیستم‌های PET
۱۳۸	۱. ۸. قدرت تفکیک فضایی بازسازی شده
۱۳۹	۲. ۸. کسر پراکندگی
۱۳۹	۳. ۸. حساسیت
۱۴۰	۴. ۸. کارایی نرخ شمارش و زمان مرده
۱۴۲	۵. ۸. نرخ شمارش معادل نویز
۱۴۲	۶. ۸. یکنواختی تصویر
۱۴۵	فصل ۹ : طراحی سیستم PET
۱۴۵	۱. ۹. اسکنرهای PET: محدودیتهای اختصاصی با کارایی بالا
۱۴۹	۲. ۹. اسکنرهای PET: تکنیک با هزینه کمتر
۱۵۰	۳. ۹. تصویربرداری همزمانی در دوربین‌های گاما
۱۵۱	۴. ۹. سیستم‌های تصویربرداری از نظر کارایی بالا
۱۵۲	۵. ۹. دیگر اسکنرهای PET انسانی
۱۵۳	۶. ۹. تصویربرداری ترکیبی PET
۱۵۴	۷. ۹. اسکنرهای مخصوص تصویربرداری از حیوانات
	فصل ۱۰ : طراحی و ساخت دستگاه مقطع‌نگاری گسیل پوزیترون حیوانی- IRI
۱۵۹	micro PET
۱۶۱	۱. ۱۰. فاز الکترونیک هسته‌ای
۱۷۳	۲. ۱۰. فاز مکانیک
۱۷۴	۳. ۱۰. فاز کنترل و داده‌برداری
۱۷۸	۴. ۱۰. فاز پردازش تصویر
۱۸۲	۵. ۱۰. بهره‌برداری اولیه و تصویربرداری از فانتوم‌های مختلف
	فصل ۱۱ : شبیه‌سازی دستگاه تصویربرداری گسیل پوزیترون حیوانی- IRI
۱۸۹	MicroPET

۱۹۰	۱. ۱۱. شبیه‌سازی‌های مونت کارلو
۱۹۱	۲. ۱۱. اعداد تصادفی و تابع احتمال توزیع
۱۹۲	۳. ۱۱. بسته مونت کارلو برای پزشکی هسته‌ای
۱۹۵	۴. ۱۱. معرفی کد GATE
۱۹۸	۵. ۱۱. نحوه شبیه‌سازی اسکنر IRI-micro PET با کد GATE
۲۰۶	۶. ۱۱. نتایج حاصل از شبیه‌سازی IRI-MicroPET
	فصل ۱۲: بهینه‌سازی الکترونیک هسته‌ای و پردازش تصویر به منظور افزایش عملکرد و بهینه‌سازی کیفیت تصاویر
۲۱۳	۱. ۱۲. بهینه‌سازی قسمت‌هایی از الکترونیک هسته‌ای
۲۲۴	۲. ۱۲. بهینه‌سازی پردازش تصویر
	۳. ۱۲. مقایسه الگوریتم‌های بازسازی تصویر در دستگاه تصویربرداری IRI-MicroPET
۲۳۲	۱۲. ۴. ساخت سینوگرام برای SP. ۱۱ و تاثیر آن بر کیفیت تصاویر دو بعدی و سه بعدی
۲۳۸	
	فصل ۱۳: ارزیابی کارایی و پارامترهای کنترلی کیفیت دستگاه تصویربرداری گسیل پوزیترون حیوانی
۲۴۳	۱. ۱۳. رزولوشن انرژی
۲۴۴	۲. ۱۳. رزولوشن زمانی
۲۴۵	۳. ۱۳. رزولوشن فضایی
۲۵۱	۵. ۱۳. حساسیت
۲۵۲	۶. ۱۳. کیفیت تصویر
۲۵۲	۷. ۱۳. مقایسه نتایج
۲۵۷	واژه‌نامه
۲۶۱	منابع