
توموگرافی تابش پوزیترون (پت)

فیزیک، تجهیزات، اسکنرها و افق‌های پیشرفت

ترجمه و تألیف:

دکتر محمدرضا آی

دانشیار گروه فیزیک پزشکی و مهندسی پزشکی و

رئیس مرکز تحقیقات تصویربرداری سلولی و ملکولی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

دکتر پرهام گرامی‌فر

مرکز تحقیقات پزشکی هسته‌ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران



سرشناسه	آی، محمدرضا، ۱۳۵۱ -
عنوان و نام پدیدآور	توموگرافی تابش پوزیترون (پت) : فیزیک، تجهیزات، اسکنرها و افق‌های پیشرفت/ ترجمه و تألیف محمدرضا آی، پرهام گرامی‌فر.
مشخصات نشر	تهران: رویان‌پژوه، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	۲۴۸ ص.
شابک	۹۷۸ ۶۰۰ ۷۱۰۸ ۵۴۰۳
وضعیت فهرست نویسی	فیا
موضوع	توموگرافی تابش پوزیترون
شناسه افزوده	گرامی‌فر، پرهام، ۱۳۶۱ -
رده بندی کنگره	۱۳۹۲ ۴۹ ب / RC۷۸/۷
رده بندی دیویی	۶۱۶/۰۷۵۷۵
شماره کتابشناسی ملی	۳۳۶۷۹۱۹



توموگرافی تابش پوزیترون (پت)

ترجمه و تألیف: دکتر محمدرضا آی، دکتر پرهام گرامی‌فر

ناشر: رویان پژوه

نوبت چاپ: اول ۹۲

مدیر تولید: سید امین امامی‌زاده

گرافیک: شادی حمیدی

چاپ و صحافی: بهمن

قطع و تعداد صفحات: وزیری - ۲۴۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۱۷۵۰۰ تومان

شابک: ISBN: 978-600-7108-54-3

دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران، خیابان انقلاب، بین اردیبهشت و ۱۲ فروردین، ساختمان امیرکبیر، طبقه سوم
تلفن: ۶۶۹۷۰۷۶۰ - ۶۶۴۸۶۳۷۲

www.RPpub.ir

۱۱	پیشگفتار
۱۳	مقدمه
۱۵	فصل ۱: اصول پایه‌ای فیزیک هسته‌ای و تابش پوزیترون
۱۵	فیزیک تابش و نابودی پوزیترون
۱۸	پدیده ناهمبندی
۲۳	برد پوزیترون ناهمبندی
۲۹	فصل ۲: برهمکنش‌های فوتون با انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت با ماده
۲۹	برهمکنش فوتوالکتریک
۲۹	برهمکنش پراکندگی کامپتون
۳۲	سطح مقطع‌های برهمکنش در مواد گوناگون
۳۷	فصل ۳: آشکارسازهای فوتون با انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت
۳۸	سوسوزن‌ها
۴۰	تیوب‌های تکثیرکننده فوتونی
۴۱	آشکارسازهای نوری حالت جامد
۴۷	آشکارساز پیوسته دوربین گاما
۴۹	انواع دیگر آشکارسازهای سوسوزن
۵۱	آشکارسازهای تشخیص دهنده عمق برهمکنش
۵۱	فوتودیودهای بهمنی
۵۳	دیگر آشکارسازهای اشعه گاما
۵۵	آشکارسازی مستقیم با استفاده از مواد نیمه هادی
۵۷	فصل ۴: جمع‌آوری داده‌ها و ساختار سیستم پت
۵۷	تشخیص همزمانی
۵۹	سیستم پت: مفاهیم کلی
۶۱	انواع رویدادها

۶۳	همزمانی‌های تصادفی
۶۴	همزمانی‌های پراکنده
۶۴	همزمانی‌های چندگانه
۶۴	همزمانی‌های آتی
۶۵	رزولوشن: تابع پاسخ همزمانی
۶۹	حساسیت: بهره آشکارساز و راندمان هندسی
۷۳	عابش داده - سینوگرام
۷۵	جمع آبی داده به صورت دو بعدی
۷۷	جبری داده به صورت سه بعدی
۸۰	پروتکل‌های جمع آبی داده
۸۳	فصل ۵: تصحیح داده
۸۳	نرمالیزاسیون
۸۶	تصحیح تضعیف
۸۸	تصحیح تضعیف با روش مساحتی
۸۹	تصحیح تضعیف با روش اندازه‌گیری
۹۴	تصحیح پراکندگی
۹۵	روش‌های تحلیلی
۹۷	روش دو پنجره انرژی
۹۷	روش‌های شبیه‌سازی
۹۸	تصحیح همزمانی‌های تصادفی
۱۰۱	تصحیح زمان مرده
۱۰۵	فصل ۶: بازسازی تصویر
۱۰۶	بک پروجکشن
۱۰۹	بازسازی تحلیلی: تئوری مقطع تصویر شده و بازسازی فوریه مستقیم
۱۱۲	بازسازی تحلیلی دو بعدی: بک پروجکشن فیلتر شده
۱۱۷	محدودیت‌های روش بک پروجکشن فیلتر شده
۱۲۰	بازسازی تحلیلی سه بعدی
۱۲۵	روش‌های بازسازی تکرار شونده
۱۳۳	فصل ۷: آنالیز تصویر

۱۳۳	نمایش تصویر
۱۳۳	کالیراسیون و آنالیز ناحیه مورد علاقه
۱۳۵	بخش‌بندی تصویر
۱۳۶	انطباق تصویر
۱۳۹	اثر حجم جزئی
۱۴۳	فصل ۸: ارزیابی کارایی سیستم‌های پت
۱۴۳	روشن‌سازی بازسازی شده
۱۴۴	سرعت‌زدگی
۱۴۵	حساسیت
۱۴۷	کارایی نرخ شمارش پتان مرده
۱۴۷	نرخ شمارش معادله‌ی بون
۱۴۸	یکنواختی تصویر
۱۵۱	فصل ۹: طراحی سیستم‌های پت
۱۵۱	اسکنرهای پت کلینیکی اختصاصی کارایی بالا
۱۵۴	اسکنرهای پت کلینیکی ارزان قیمت
۱۵۵	تصویربرداری پت با استفاده از دوربین‌های پت
۱۵۶	سیستم‌های تصویربرداری از مغز با کارایی بالا
۱۵۷	دیگر اسکنرهای پت مخصوص تصویربرداری از انسان
۱۵۸	سیستم‌های تصویربرداری ترکیبی پت / سی تی
۱۵۹	اسکنرهای مخصوص تصویربرداری از حیوانات
۱۶۵	فصل ۱۰: تصحیح تضعیف در سیستم‌های ترکیبی پت/سی تی
۱۶۵	مقدمه
۱۶۸	طراحی سیستم‌های پت/سی تی
۱۶۹	روش‌های تصحیح تضعیف در سیستم‌های پت
۱۷۰	استفاده از تصاویر سی تی در تصحیح تضعیف تصاویر پت
۱۷۳	منابع خطا و آرتیفکت در تصحیح تضعیف با تصاویر سی تی
۱۷۴	عدم تطابق صحیح تصاویر پت و سی تی
۱۷۵	حرکات ارادی و غیر ارادی بیمار
۱۷۶	یکسان نبودن میدان دید دستگاه پت و سی تی

۱۷۸.....	اثر سخت شدن پرتو و پراکندگی پرتو ایکس
۱۷۹.....	ماده حاجب
۱۸۱.....	آرتیفکت های فلزی
۱۸۱.....	تأثیر ولتاژ تیوب پرتو ایکس
۱۸۴.....	تأثیر جریان تیوب پرتو ایکس
۱۸۶.....	خلاصه
۱۸۷.....	فصل ۱۱: پیشرفت ها در روش های تصحیح پراکندگی در تصویربرداری پت
۱۸۸.....	پراکندگی کامپتون چیست؟
۱۸۹.....	پیامدهای کلینیکی و عملی تشخیص پراکندگی
۱۹۳.....	مکانیسم پراکندگی در ماده یکنواخت و غیر یکنواخت
۱۹۷.....	روش های تصحیح پراکندگی در پت
۱۹۸.....	روش های سخت پرتویی استفاده از دیواره (صفحات فلزی بین رینگ های آشکارساز)
۱۹۸.....	روش های مبتنی بر بهره ای چندگانه
۱۹۹.....	روش های مبتنی بر کانال های مولکولشن
۱۹۹.....	روش های بر پایه محاسبه سیستم تصحیح پراکندگی
۲۰۱.....	روش های تصحیح پراکندگی بر پایه بازسازی تکرار شونده
۲۰۲.....	مقایسه روش ها
۲۰۳.....	تصحیح پراکندگی در تصویربرداری عبوری
۲۰۵.....	خلاصه
۲۰۷.....	فصل ۱۲: سیر تکاملی در طراحی سیستم های ترکیبی
۲۰۸.....	تاریخچه تکامل سیستم پت
۲۱۱.....	پیشرفت ها در تصویربرداری ترکیبی پت/سی تی
۲۱۶.....	تصویربرداری ترکیبی پت/ام آر آی
۲۲۰.....	نقش تجهیزات پیشرفته تصویربرداری مولکولی در تحقیقات پزشکی
۲۲۱.....	خلاصه
۲۲۳.....	مراجع

کتاب حاضر با هدف آشنایی دانشجویان رشته‌های فیزیک پزشکی، مهندسی پزشکی، مهندسی پرتو پزشکی و همچنین دانشجویان مقطع کارشناسی رادیولوژی و پزشکی هسته‌ای و دستیاران تخصصی رشته‌های پزشکی هسته‌ای و رادیولوژی، با مفاهیم تصویربرداری توموگرافی تابش پوزیترون (پت) و سیستم‌های ترکیبی پت سی تی تدوین شده است.

با توجه به آنکه تاکنون هیچ کتابی بصورت اختصاصی اقدام به معرفی اصول و مفاهیم تصویربرداری پت به زبان فارسی نکرده است در این کتاب تلاش شده است در ابتدا مفاهیم اولیه و اصول طراحی سیستم‌های پت، مراحل تشکیل تصویر معرفی گردد و در فصول پایانی اقدام به معرفی روش‌های تصحیح داده‌ها و پیکره‌سازی در سیستم‌های ترکیبی پت سی تی شده است. در قسمت معرفی اصول تصویربرداری پت، مؤلف پس از کسب اجازه از آقای پروفسور مایکل فلپس از دانشگاه کالیفرنیا، اقدام به ترجمه کتاب ایشان از زمینه پت که از پرتیراژترین کتب درسی در آمریکا و اروپا می‌باشد، کرده است. اما با توجه به اینکه کتاب مذکور به مباحث پیشرفته در اصلاح داده‌ها در سیستم‌های تصویربرداری پت و همچنین اصول کاربرد سیستم‌های تصویربرداری ترکیبی اشاره نشده است، مؤلف اقدام به ارائه مطالبی جهت معرفی موارد مذکور به خوانندگان محترم کرده‌اند. لازم به ذکر است که مباحث مربوط به سیستم‌های ترکیبی ارائه شده در این کتاب برگرفته از حدوداً ۲۵۰ مقاله علمی می‌باشد و این در حالی است که ۱۵۴ مقاله اضافی از سیستم مراجع کتاب حاضر، مربوط به کتاب ترجمه شده می‌باشد.

در پایان از کلیه خوانندگان محترم درخواست شکیبایی در تحمل نواقص احتمالی در این کتاب است نموده و از آنان درخواست همکاری دارم. از کلیه خوانندگان تقاضا می‌کنم با ارسال نظرات و پیشنهادات سازنده خود به آدرس ایمیل اینجانب و یا آدرس ناشر، ما را جهت رفع نقایص کتاب مورد بود یاری فرمایند.

دکتر محمدرضا آی

Mohammadreza_ay@tums.ac.ir

پاییز ۱۳۹۲

توموگرافی تابش پوزیترون (پت)^۱ یک تکنیک تصویربرداری هسته‌ای است که از خصوصیات واپاشی منحصر به فرد رادیونوکلئیدهایی استفاده می‌کند که از خود پوزیترون تابش می‌کنند. از این رادیونوکلئیدها که در سیکلوترون تولید می‌شوند، برای نشاندار کردن ترکیب‌های بیولوژیکی مورد نظر استفاده می‌شود. معمولاً ترکیب نشاندار شده (عموماً ^{10}B تا ^{15}O ملکول نشاندار شده) با تزریق داخل وریدی به بدن بیمار می‌شود که با توجه به خصوصیات بیوشیمیایی خود در بافت‌ها توزیع می‌گردد. هنگامی که اثر رادیواکتیو یک ملکول خاص واپاشی می‌کند، یک پوزیترون از هسته به بیرون پرتاب می‌شود که نهایتاً منجر به تابش فوتون‌های پراثرژی می‌شود که احتمال فرار آنها از بدن زیاد است. یک اسکنر پت شامل مجموعه‌ای از آشکارسازها است که جسم مورد نظر برای تصویربرداری را احاطه کرده‌اند. فوتون‌های پراثرژی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند. این سیگنال الکتریکی ورودی مدارات الکترونیکی است که بعد از آشکارسازها قرار دارند. معمولاً در یک اسکنر پت، 10^6 تا 10^9 رویداد (واپاشی) آشکارسازی می‌شود. این رویدادها پس از تصحیح برای چندین فاکتور مخرب مختلف (که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد)، به کمک الگوریتم‌های ریاضی بازسازی شده و به یک تصویر توموگرافی تبدیل می‌شوند. فرایند بازسازی، یک تصویر سه بعدی (3-D) است که شدت سیگنال در هر کدام از امان‌های حجمی متناسب با مقدار تجمع رادیونوکلئید (و بنابراین میزان ملکول نشاندار شده) در آن امان است. بنا بر این، تصاویر پت توزیع فضایی از ردیاب‌های نشاندار شده را به صورت کمی در بدن یک بیمار زمانه نشان می‌دهند. با تصویربرداری‌های متوالی، غلظت ملکول‌های نشاندار شده در بافت بر حسب زمان اندازه‌گیری می‌شود و به کمک یک مدل‌سازی ریاضی مناسب می‌توان سرعت وقوع یک فرایند بیولوژیکی را مشخص نمود. این کتاب به خواننده مفاهیم مرتبط با فیزیک و تجهیزات پت، شامل نحوه جمع‌آوری داده‌ها و چگونگی شکل‌گیری تصویر را منتقل می‌کند. در ابتدا فیزیک پایه تصویربرداری پت را مرور می‌کنیم و در ادامه تکنولوژی آشکارسازی مورد استفاده در اسکنرهای پت امروزی را بطور دقیق بررسی می‌کنیم. سپس نحوه جمع‌آوری داده‌ها در پت توضیح داده می‌شود و فاکتورهای تصحیحی که

1. Positron Emission Tomography

2. Voxel

Voxel یک امان حجمی در یک آرایه تصویر سه بعدی است. امان حجمی مشابه پیکسل (Pixel) در آرایه تصویر دو بعدی است.

بر روی آنها اعمال می‌شود، معرفی می‌گردند. در ادامه روش‌های بازسازی یک تصویر حجمی سه بعدی از داده‌های پت در کنار تعدادی از روش‌های آنالیز و کمی سازی تصاویر بدست آمده، توضیح داده می‌شوند. سپس، انواع سیستم‌های پیشرفته تصویربرداری پت شامل سیستم‌های کلینیکی، تحقیقاتی و سیستم‌های مختص تصویربرداری حیوانات کوچک و همچنین روش‌های ارزیابی کارایی این سیستم‌ها مورد بحث قرار می‌گیرند. با توجه به ظهور سیستم‌های ترکیبی پت سی تی در فصل‌های دهم و یازدهم به پیشرفت‌ها در زمینه روش‌های تصحیح تضعیف و تصحیح پراکندگی اشاره می‌شود و نهایتاً در فصل دوازدهم سیر تکاملی در طراحی سیستم‌های ترکیبی مورد بررسی قرار می‌گیرد.