



انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد، شماره ۳۴۲

مروری بر فیزیک پزشکی هسته‌ای

تألیف و ترجمه:

دکتر محسن حاجی‌زاده صفار

استاد دانشکده پزشکی مشهد

سرشناسه:	حاجی زاده صفار، محسن، ۱۳۳۲ -
عنوان و نام پدیدآور:	مروری بر فیزیک پزشکی هسته‌ای = Review of nuclear medicine physics
مشخصات نشر:	مشهد: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مشهد، ۱۳۹۳
مشخصات ظاهری:	۲۴۶ ص.: مصور.
فروست:	(انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد؛ شماره ۳۴۲).
شابک:	(ISBN: 978-964-5944-94-8)
وضعیت فهرست نویسی:	فیبای مختصر.
یادداشت:	این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شناسه افزوده:	دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مشهد.
شماره کتابشناسی ملی:	۲۷۷۳۱۳۶



انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد، شماره ۳۴۲

مروری بر فیزیک پزشکی هسته‌ای

تألیف و ترجمه

دکتر محسن حاجی زاده صفار

وزیری، ۲۴۶ صفحه، ۲۲۰ نسخه، چاپ اول، بهار ۱۳۹۴

امور فنی و چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۱۰۰۰۰۰ ریال

بسمه تعالی

انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد - به عنوان یک نهاد علمی - فرهنگی، چاپ و نشر، کتابهای مورد استفاده استادان و دانشجویان رشته‌های علوم پزشکی را از وظایف اساسی خود می‌داند و بر آن است تا با انتشار متون مربوط به علوم پزشکی، هم بر اعتبار و اعتلای آنها بیفزاید و هم موجبات دل‌گرمی و شوق و نشاط امر تحقیق را در پی‌جوییهای علمی فراهم آورد. به یقین چاپ و نشر آثار معتبر علمی، امکان دستیابی اهل تحقیق را به منابع مختلف و گوناگون علمی مورد نیاز به بهترین صورتی میسر و ممکن خواهد ساخت و راه را برای تحقیقات بعدی هموار خواهد کرد.

باید گفته شود که گستردگی فعالیتهای مربوط به نشر، در قلمرو ناشران خصوصی، نه تنها از مسؤلیت مراکز معتبر دانشگاهی، به کوشش در این زمینه‌ها با تکیه بر جنبه‌های علمی و فرهنگی موضوع نمی‌کاهد، بلکه به دلایل گوناگون، از جمله لزوم بررسیهای دقیق کارشناسی، ویرایشهای علمی و فنی، و نیز توجه حداکثر به توان مالی مخاطبان آثار، به‌ویژه دانشجویان، ایجاب می‌کند که دانشگاههای دولتی دامنه خدمات خود را با تکیه بر جنبه‌های کیفی، و گاه صرف‌نظر از بازده اقتصادی گسترش دهند.

مسئولان انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد، با اشتیاق و اخلاص تمام می‌خواهند تا جدیدترین آثار مربوط به دانشهای پزشکی را به بهترین شیوه فراهم آورند و بکوشند تا آثار منتشر شده با کیفیت مطلوب عرضه گردد. در عین حال انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مترصد دریافت نظرها و انتقادهای به‌جا و سازنده اهل نظر می‌باشد تا از این طریق بتواند بر کمال آثار منتشره خویش بیفزاید.

معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد با استعانت از الطاف خداوندی امیدوار است که نشر این اثر همانند دیگر آثار انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد با نظارت همه‌جانبه این معاونت، و با تکیه بر ابتکار و کوشش اعضا و کارشناسان دانش‌آموخته خویش و نیز ایجاد ارتباط محکم و پایدار با جامعه پزشکی و دانشجویان پژوهشگر، در جهت ارتقای کیفی و تنوع موضوعات مورد نیاز دانش‌پژوهان رشته‌های علوم پزشکی گامهای مؤثر بردارد تا مورد استفاده دانشجویان و مقبول طبع صاحب‌نظران و دانشگاهیان نکته‌بین قرار بگیرد.

انتشارات دانشگاه علوم پزشکی مشهد

فهرست مطالب

۱۱	پیشگفتار
۱۳	فصل ۱ - رادیواکتیویته و سنجش آن
۱۴	۱-۱ ساختمان هسته و انرژی همبستگی آن
۱۵	الف: واحدها
۱۶	ب: تعاریف
۱۶	ج: انرژی همبستگی هسته
۲۰	۲-۱ رادیواکتیویته
۲۱	۱-۲-۱ استحاله آلفا
۲۶	۲-۲-۱ استحاله β
۲۶	- تابش نگاترون β^-
۲۹	- تابش پوزیترون β^+
۲۹	- شکار الکترون
۳۰	۳-۲-۱ تابش اشعه γ
۳۱	۳-۱ نقشه استحاله
۳۴	۱-۳-۱ انتخاب رادیوایزوتوپ مناسب
۳۴	۲-۳-۱ محاسبه دوز جذب اشعه
۳۷	۴-۱ سنجش رادیواکتیویته
۳۸	- نیمه عمر
۴۰	- عمر متوسط
۴۲	۵-۱ تعادل رادیواکتیو
۴۵	۶-۱ ژنراتور $Mu-Tc$
۵۱	فصل ۲ - رادیواکتیویته طبیعی و مصنوعی
۵۱	۱-۲ رادیواکتیویته طبیعی
۵۴	۲-۲ انواع واکنش‌های هسته‌ای
۵۵	الف: واکنش $\alpha - P$
۵۶	ب: واکنش $\alpha - n$
۵۶	ج: معیار دمان توسط پروتون و دوتریون

۵۶	د: بمباردهان توسط نوترون
۵۸	ه: تجزیه نوری
۵۹	و: فیسبون (شکست) هسته
۶۰	ز: فیوژن (جوش) هسته
۶۰	۳-۲ نوترون
۶۱	الف: برخورد نوترون پراثری (سریع) به مواد سبک (هسته‌های کوچک)
۶۱	ب: برخورد نوترون با انرژی متوسط به مواد نسبتاً سنگین
۶۱	ج: برخورد نوترون‌های کند با هسته‌های سنگین
۶۲	۳-۲ اثرات بیولوژیکی و موارد استفاده نوترون در پزشکی
۶۲	۳-۲ روش‌های تولید نوترون
۶۳	الف: تولید نوترون در آزمایشگاه
۶۳	ب: تولید نوترون در صنعت
۶۴	۴-۲ رادیواکتیو پخته مصنوعی
۶۵	۴-۲ تولید رادیوایزوتوپ مصنوعی در راکتورها
۶۵	راکتورهای هسته‌ای
۶۶	الف: بمباردهان عناصر غیررادیواکتیو توسط نوترون در راکتورها
۶۷	ب: جدا کردن پاره های فیسبون به روش‌های شیمیایی
۶۷	۴-۲ تولید رادیوایزوتوپ مصنوعی در شتاب دهنده
۶۷	شتاب دهنده
۶۹	بمباردهان عناصر غیررادیواکتیو توسط ذرات باردار در شتاب‌دهنده‌ها
۷۱	فصل ۳ - آشکارسازی پرتوهای یونیزان
۷۲	۱-۳ مشخصات عمومی آشکارسازها
۷۳	ا: تناسب ارتفاع پالس و انرژی اشعه
۷۳	ب: راندمان آشکارساز
۷۴	ج: قدرت تفکیک انرژی
۷۵	۲-۳ اساس آشکارسازی و انواع آن
۷۵	الف: برخورد ذرات باردار با مواد سبب ایجاد یونیزاسیون در اتم‌های محیط شود
۷۶	ب: برخورد ذرات باردار با مواد باعث ایجاد فوتون‌های نوری شود
۷۶	ج: برخورد ذرات باردار با مواد ایجاد الکترون و حفره نماید
۷۷	۱-۲-۳ آشکارسازهای گازی
۷۹	الف: آشکارسازهای یونیزاسیون
۸۰	ب: آشکارسازهای تناسبی
۸۱	ج: شمارنده‌های گایگر مولر
۸۲	۲-۲-۳ آشکارسازهای سنتیلاسیون
۸۴	۳-۲-۳ آشکارسازهای نیمه‌هادی
۸۵	۳-۳ الکترونیک مورد نیاز
۸۶	تقویت کننده اولیه
۸۶	شکل دهنده ارتفاع پالس
۸۸	۱-۳-۳ توزیع ارتفاع پالس
۹۰	۲-۳-۳ آنالیز کننده ارتفاع پالس
۹۲	۳-۳-۳ تایمر / شمارنده

۹۳	۴-۳ تندی سنج
۹۴	منابع تغذیه
۹۴	۵-۳ آنالیز چند کاناله
۹۶	۶-۳ تصحیح در شمارش فتون‌های اشعه
۹۸	۷-۳ آشکارسازهای مورد استفاده در پزشکی
۹۸	الف: دوربینتری
۱۰۱	ب: آشکارسازی پرتوها
۱۰۳	ج: دوز کالیبراتور
۱۰۴	- کالیبراسیون به روش استحال
۱۰۵	- کالیبراسیون به روش محافظ
۱۰۷	فصل ۴ - کاربرد رادیوایزوتوپ‌ها در پزشکی
۱۰۹	۱-۴ خواص عمومی ردیاب‌ها
۱۱۰	۲-۴ کاربرد رادیوایزوتوپ‌ها
۱۱۰	۳-۴ کاربردهای تحقیقاتی
۱۱۱	۲-۴ کاربردهای تشخیصی
۱۱۲	الف: آزمایشات کلسینی
۱۱۲	۱- اندازه‌گیری‌های in-vivo
۱۱۵	۲- اندازه‌گیری‌های in-vitro
۱۱۷	ب: استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها در تصویربرداری
۱۱۸	ارزیابی اختلال در عملکرد کلیوی با استفاده از پارامتر ROE
۱۲۰	۳-۴ تکنیک‌های تصویربرداری با استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها
۱۲۲	۴-۴ کاربردهای درمانی
۱۲۲	الف: جایگزینی بیوشیمیایی
۱۲۲	ب: درمان از راه نزدیک
۱۲۴	ج: درمان از راه دور
۱۲۷	فصل ۵ - دوربین گاما
۱۳۰	۱-۵ ساختمان کلیماتور (موازی ساز پرتو)
۱۳۱	۱-۵ انواع کلیماتورها
۱۳۳	الف: کلیماتور سیستم‌های جاروبگر
۱۳۳	- پاسخ هندسی کلیماتور تک روزنه
۱۳۶	- قدرت تفکیک فضایی کلیماتور تک روزنه
۱۳۶	ب: کلیماتورهای دوربین گاما
۱۳۸	۲-۱-۵ عمق میدان
۱۳۸	۳-۱-۵ تاثیر نفوذ تیغه‌ای
۱۴۲	۴-۱-۵ اثرات اشعه پراکنده
۱۴۳	۲-۵ اصول عملکردی دوربین گاما
۱۴۵	۱-۲-۵ کانال نوری
۱۴۵	۲-۲-۵ توزیع نور و مکان یابی نقطه ورود پرتو
۱۴۷	۳-۵ اصلاحات ضروری در دوربین گاما

۱۴۷	۵-۳-۱ جداسازی پرتوهای پراکنده
۱۴۸	۵-۳-۲ اصلاح انرژی
۱۴۸	۵-۳-۳ تصحیح غیر خطی بودن فضا
۱۵۰	۵-۴ تنظیم های دوربین گاما
۱۵۱	۵-۴-۱ تنظیم های موردی
۱۵۱	۵-۴-۲ تنظیم های پیوسته
۱۵۲	۵-۵ ایجاد تصویر در دوربین گاما
۱۵۳	۵-۵-۱ قدرت تفکیک ذاتی و حساسیت
۱۵۴	۵-۵-۲ قدرت تفکیک کلیما تور و سیستم
۱۵۵	۵-۵-۳ یکنواختی در دوربین گاما
۱۵۵	۵-۵-۴ اصلاح پراکندگی در تصاویر
۱۵۷	۵-۵-۵ توانایی آهنگ شمارش بالا
۱۶۰	۵-۶ کنترل کیفی دوربین گاما
۱۶۰	الف: کنترل یکنواختی کل سیستم
۱۶۱	ب: کنترل قدرت تفکیک فضایی
۱۶۱	ج: کنترل حساسیت سیستم
۱۶۳	فصل ۶ - توموگرافی محاسباتی با نشر تک فتون
۱۶۵	۶-۱ توموگرافی طولی
۱۶۵	الف: آرایه های روزنه سوزنی
۱۶۷	ب: روزنه کند شده تصادفی
۱۶۹	۶-۲ توموگرافی محاسباتی عمود بر محور
۱۷۱	۶-۳ جبران تضعیف در بازسازی تصاویر
۱۷۲	روش I - اصلاح متوسط هندسی
۱۷۳	روش II - اصلاح تکراری پیکلها
۱۷۴	روش III - اصلاح مقادیر مخزن قبل از کانولوشن
۱۷۴	۶-۴ نیازهای نمونه برداری زاویه ای
۱۷۶	۶-۵ قدرت تفکیک فضایی متغیر
۱۷۷	۶-۶ روش های جبران اشعه پراکنده
۱۷۸	الف: تفریق توسط پنجره های انرژی چندگانه
۱۷۹	ب: جبران با استفاده از توزین انرژی
۱۷۹	ج: روش کانولوشن - تفریق
۱۷۹	د: مدلسازی اشعه پراکنده بر مبنای بیمار
۱۸۰	۶-۷ قابلیت کمی سازی
۱۸۰	الف: دقت آماری
۱۸۱	ب: صحت، بازیافت کمی غلظت
۱۸۲	۶-۸ حساسیت
۱۸۵	فصل ۷ - روش های بازسازی تصاویر
۱۸۸	۷-۱ روش های تحلیلی بازسازی تصاویر

الف: نمای معکوس BP	۱۸۹
ب: نمای معکوس فیلتر شده FBP	۱۹۱
- فیلترهای بازسازی	۱۹۱
۲-۷ روش‌های تکراری بازسازی تصاویر	۱۹۴
الف: روش‌های بازسازی جبری (ART) تصاویر	۱۹۴
ب: روش‌های بازسازی آماری تصاویر	۱۹۵
روش بازسازی MLEM	۱۹۶
- ماتریس میستم	۱۹۶
روش بازسازی OSEM	۱۹۷
۳-۷ اصلاح تضعیف و بهبود کیفیت تصاویر	۱۹۸
۳-۷-۱ روش‌های تعیین نقشه تضعیف	۱۹۸
روش‌های عبوری	۱۹۹
مقیاس خطی قطعه‌ای piece-wise linear scaling	۲۰۰
منحنی کالیمراسیون چند جمله‌ای درجه دوم	۲۰۱
روش‌های غیرعبوری	۲۰۲
۳-۷-۲ تکنیک‌های اصلاح تضعیف در بازسازی تکراری	۲۰۳
۴-۷ اصلاح پراکندگی و بهبود کیفیت تصاویر	۲۰۳
- اصلاح پراکندگی در بازسازی تکراری به روش MLEM	۲۰۴
۵-۷ اصلاح CDR و بهبود کیفیت تصاویر	۲۰۶
۴-۷ فانتوم‌های مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای	۲۰۶
فصل ۸ - توموگرافی نشر پوزیترون	۲۰۹
۸-۱ تصویربرداری بیولژیکی توسط PET و کاربرد آن در پزشکی	۲۰۹
۸-۲ مبانی توموگرافی با نشر پوزیترون	۲۱۱
الف: ردیاب‌های تابش‌کننده پوزیترون و نحوه تولید آنها	۲۱۲
- ایزوتوپ‌های با نشر پوزیترون	۲۱۲
- تولید ردیاب	۲۱۳
ب: آشکارسازی همزمان و موازی‌کننده الکترونیکی	۲۱۴
ج: تابشهای راندم و پراکنده همزمان	۲۱۵
د: قدرت تفکیک فضایی در PET	۲۱۷
ه: راندمان آشکارساز	۲۱۹
و: حساسیت	۲۲۰
ز: زمان مرگ سیستم و قابلیت سرعت شمارش	۲۲۱
ح: سرعت شمارش معادل نویز	۲۲۲
ط: آشکارساز بلوکی	۲۲۳
ی: سایر آشکارسازهای مورد استفاده در PET	۲۲۵
۸-۳ مشخصات یک توموگراف کلینیکی PET	۲۲۵
۸-۴ جمع‌آوری اطلاعات و بازسازی تصویر در PET	۲۲۸
الف: ذخیره‌سازی اطلاعات خام PET بصورت سینوگرام	۲۲۸
ب: جمع‌آوری اطلاعات دو بعدی (لایه‌ای)	۲۲۹
ج: جمع‌آوری اطلاعات دوبعدی برای تمام بدن	۲۳۰
د: جمع‌آوری اطلاعات سه بعدی (حجمی)	۲۳۱

۲۳۳ ۸-۵ دوزیمتری در PET

۲۳۳ ۸-۶ تصویر برداری کمی در PET

۲۳۴ الف: نرمالیزاسیون آشکارساز

۲۳۴ ب: اصلاح مربوط به تضعیف

۲۳۷ ج: تصحیح زمان مرگ

۲۳۷ د: تصحیح راندم

۲۳۸ ه: تصحیح پراکندگی

۲۳۹ و: کالیبراسیون

۲۳۹ ز: حدود صحت در PET

۲۳۹ ح: اثر حجم جزئی

۲۴۱ ط: مدلسازی سنتتیک ردیاب

۲۴۲ ی: مدل‌های قسمت بندی شده

۲۴۵ منابع

www.ketab.ir

پیشگفتار

در زمینه مبانی فیزیکی مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای تاکنون آثار منتشر شده چندانی به زبان فارسی که به صورت کتاب درسی تدوین شده باشد، وجود ندارد. مطالب کتاب حاضر، عمدتاً بر مبنای سرفصل ۲ واحد درس "فیزیک پزشکی هسته‌ای" در برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی، پس از چند ترم تدریس، گردآوری و تدوین گردیده است. در تنظیم مطالب سعی شده نیازهای سایر علاقمندان و کارشناسانی که در بخش های پزشکی هسته‌ای، رادیولوژی و یا رادیوتراپی در بیمارستان‌ها شاغل‌اند نیز مورد توجه قرار گیرد.

در فصول اول تا سوم کتاب مباحث پایه از قبیل ساختمان هسته و انرژی همبستگی، انواع رادیواکتیویته و مبانی سنجش آن، تعادل رادیواکتیویته و کاربرد آن در ساختمان ژنراتورهای تولید رادیودارو، رادیواکتیویته طبیعی، مصنوعی و انواع واکنشهای هسته‌ای، نوترون و اثرات بیولوژیکی و همچنین انواع آشکارسازهای پرتوهای یونیزان و اصول مورد استفاده آن‌ها در پزشکی بررسی شده است.

در فصل چهارم با اشاره به خواص عمومی ردیابها و کاربرد رادیوایزوتوپها در مصارف پزشکی اعم از آزمایشات کلینیکی، استفاده از آن‌ها در عکسبرداری و همچنین کاربردهای درمانی، زمینه معرفی تجهیزات مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای در فصول بعد فراهم گردیده است.

در فصل ۵ پس از معرفی ساختمان کلیماتور برای سیستم های جاروبگر و دوربین گاما و ویژگیهای انواع کلیماورها، ساختمان دوربین گاما و اصول عملکرد و اجزاء آن معرفی گردیده است. در این فصل مباحث جداسازی پرتوهای پراکنده و اصلاح انرژی، روش تصحیح غیرخطی بودن فضا و تنظیمات دوربین گاما و همچنین ویژگیهای تصاویر آن از قبیل قدرت تفکیک فضائی (با توجه به قدرت تفکیک ذاتی آشکارساز و کلیماطور)، حساسیت و یکنواختی تصاویر، قدرت تفکیک انرژی و نقش آن در بهبود پراکندگی تصاویر، توانائی آهنگ شمارش بالا و نهایتاً

کنترل کیفی دوربین گاما بحث شده است.

در فصل ششم توموگرافی محاسباتی با نشر تک فتون و انواع طولی و عرضی آن معرفی شده و نیازهای نمونه‌برداری و تاثیر آن بر قدرت تفکیک تصاویر SPECT و همچنین روش‌های جبران تضعیف و پراکندگی در این تصاویر همراه با قابلیت‌های کمی سازی و حساسیت این تکنیک مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل هفتم روش‌های بازسازی تصاویر شامل روش‌های تحلیلی و تکراری معرفی و روابط ریاضی برای بازسازی تصاویر به روش MLEM ارائه گردیده است. روش‌های تعیین نقشه تضعیف برای اصلاح تضعیف و همچنین تکنیک‌های اصلاح پراکندگی و جبران اثرات پاسخ کلیما تور _ آشکارساز بمنظور بهبود کیفیت تصاویر SPECT تشریح گردیده است.

در فصل هشتم توموگرافی نشر پوزیترون و تصویربرداری بیولوژیکی توسط PET و کاربرد آن در پزشکی بحث شده است. در این فصل به ردیاب‌های تابش‌کننده پوزیترون، آشکارسازی هم‌زمان و موازی‌کننده الکترونیکی، تابشهای راندم و پراکنده هم‌زمان، قدرت تفکیک فضایی، راندمان آشکارساز و حساسیت دستگاه‌های PET اشاره شده است. مشخصات یک توموگراف کلینیکی PET و نحوه جمع‌آوری و ذخیره سازی اطلاعات خام PET بصورت سینوگرام برای بازسازی تصاویر مقطعی و کل بدن، درزیمتری در دستگاه‌های PET و نهایتاً اصلاحات مربوط به کمی سازی و کالیبراسیون تصاویر نیز تشریح شده است.

در خاتمه ضمن تشکر از معاونت پژوهشی و شورای انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی خراسان رضوی که امکان انتشار این کتاب را فراهم نمودند، از کلیه همکاران گرامی، دانشجویان عزیز و سایر علاقمندانی که این کتاب را مطالعه می‌نمایند انتظار دارد با ارسال انتقادات، پیشنهادات و یا راهنمایی‌های ارزنده خود نسبت به تکمیل و یا تصحیح آن نگارنده را یاری نمایند.