



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فیزیک تابشی برای پزشکی هسته‌ای

## Radiation Physics For Nuclear Medicine

نویسنده:

ماری کلر کنتون

Marie Claire Cantoni

مترجمان:

دکتر فرها منوچهری

عضو هیات علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران

دکتر حسین عباسی مجرد

مهندس حامد باقری

مرکز تحقیقات پرتو و موج

و دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی آجا

ویراستار ادبی: مهرنوش ناصری

ویراستار علمی: حبیب‌اله دادگر

انتشارات  
هذنگاره

سرشناسه	: کنتن، ماری کلر Cantone, Marie Claire
عنوان و نام پدیدآور	: فیزیک تابشی برای پزشکی هسته‌ای / نویسنده ماری کلر کنتون؛ مترجمان فرهاد منوچهری، حامد باقری، سیمین عباسی مجرد؛ ویراستار ادبی مهرنوش ناصری؛ ویراستار علمی حبیب‌اله دادگر.
مشخصات نشر	: کرچ: انتشارات هنر نگاره، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۳۹۳ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-97190-0-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Radiation physics for nuclear medicine, 2014.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: پزشکی هسته‌ای
موضوع	: Nuclear medicine
موضوع	: فیزیک پزشکی
موضوع	: Medical physics
موضوع	: شمع
موضوع	: Radiation
شناسه رده	: هوشن، کریستوف
شناسه افزوده	: Hoeschen, Christoph
شناسه افزوده	: من: فرهاد، ۱۳۴۰ - مترجم
شناسه افزوده	: مری حامد، ۱۳۹۱ - مترجم
شناسه افزوده	: عباسی مجد سیمین، ۱۳۴۷ - مترجم
شناسه افزوده	: مهرنوش ناصری، ۱۳۹۶ - مترجم
شناسه افزوده	: دادگر، حبیب‌اله، ویراستار
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۶ ر. ک / ۵ / R
رده بندی دیویی	: ۱۶ / ۰۷۵۷۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۶۹۹۵۶۲

انتشارات  
هنر نگاره

## فیزیک تابشی برای پزشکی هسته‌ای

### Radiation Physics For Nuclear Medicine

تألیف: ماری کلر کنتون Marie Claire Cantone

مترجمان: دکتر فرهاد منوچهری، مهندس حامد باقری، دکتر سیمین عباسی مجرد

ویراستار ادبی: مهرنوش ناصری

ویراستار علمی: حبیب‌اله دادگر

ناشر: هنر نگاره

صفحه پرداز و طراح جلد: مهدی اکبرزاده

چاپ: مشعل آزادی

صحافی: فرانگر

چاپ اول: بهار ۱۳۹۶

شمارگان: ۵۰۰

قیمت: ۳۵۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۷۱۹۰-۰-۶

همراه: ۰۹۱۲۳۱۵۰۷۶۸

تلفن انتشارات هنر نگاره: ۰۲۶-۳۴۳۴۹۴۹۸

## فهرست مطالب

مقدمه نویسنده و مترجمان ..... ۴

### بخش اول : مقدمه

فصل ۱ : نقش فیزیک پرتوها در پزشکی هسته‌ای ..... ۱۰

فصل ۲ : مسیر تصویربرداری مولکولی در فیزیک پزشکی زیستی ..... ۱۴

### بخش دوم : فرآیندهای اصلی فیزیک پرتویی

فصل ۲ : مکانیسم‌های تبادلات میان تابش و ماده ..... ۲۲

فصل ۴ : اصول کدها و محاسبات مونت کارلو ..... ۴۸

### بخش سوم : چشمه‌ها، پرتوهای تولیدات رادیودارویی

فصل ۵ : چشمه‌های پرتوهای رادیونوکلئید در پزشکی هسته‌ای ..... ۸۲

فصل ۶ : تولید رادیو دارو ..... ۹۵

فصل ۷ : تحقیق و توسعه رادیودارویی ..... ۱۴۹

### بخش چهارم : آشکارسازهای تابش با کاربردهای پزشکی

فصل ۸ : اصول اولیه آشکارسازی تابش‌های یونیزان ..... ۱۶۰

پزشکی ..... ۲۰۰

فصل ۹ : آشکارسازهای نیم رسانا و سوسوزن ..... ۲۲۸

فصل ۱۰ : روش‌های جدید آشکارسازی در تصویربرداری پزشکی ..... ۲۴۹

### بخش پنجم : مرزهای جدید در پزشکی هسته‌ای

فصل ۱۱ : پروب بزرگنمایی PET ..... ۲۷۸

فصل ۱۲ : الگوریتم‌هایی برای بازسازی تصویر ..... ۲۹۸

فصل ۱۳ : مدل‌های جنبشی بیولوژیکی برای رادیوداروها ..... ۳۳۰

فصل ۱۴ : فانتوم‌های عنصر حجمی (وکسل voxel) دوزیمتری داخلی ..... ۳۶۲

## مقدمه نویسنده

### به یاد نیکی مولهو<sup>۱</sup> (۱۹۹۳-۱۹۳۸)

رشته‌ی آموزشی فیزیک پرتوها که در نوامبر ۲۰۰۸ در میلان ارائه شد و این کتاب که برگرفته از آن است، به یاد نیکی مولهو در پانزدهمین سالگرد درگذشتش، اختصاص یافت. مولهو، استاد فیزیک پزشکی دانشگاه ایالتی میلان، دانشکده‌ی پزشکی و مدیر گروه تحقیقات فیزیک پزشکی در آن دانشگاه بود.

در ۲۱ فوریه ۱۹۳۸، مرگ ناگهانی نیکی در سن ۵۵ سالگی، او را از فعالیت‌های تحقیقاتی و تدریس پرورده، دور کرد.

نیکی بعد از فارغ‌التحصیل در سن ۱۹۶۲، به فیزیک هسته‌ای تجربی علاقه‌مند شد و توجه خاصی به تحقیق روی مکنس‌های واکنشی، مدل‌های تفسیری، طیف‌نمایی گاما و تجهیزات مربوطه داشت. از سال ۱۹۷۰ زمانی که تدریس فیزیک به دانشجویان پزشکی دانشگاه میلان را شروع کرد، بر فعالیت‌های تحقیقی حوزه‌ی پزشکی متمرکز شد و از تجربیات و دانش خود در فیزیک هسته‌ای نهایت استفاده را برایش برد. آموزش‌شناسی جدیدی را بر اساس فعالیت‌های هسته‌ای، به واسطه‌ی پرتوهای پروتون برای تحلیل کمی عناصر ردیابی در نمونه‌های بیولوژیکی، شروع کرد. این نوع روش‌شناسی برای شناسایی عناصر چندگانه در خون انسان، با موفقیت به کار می‌رفت. او در این خصوص همکاری نزدیکی با مؤسسه‌ی تحقیقات بیوفیزیکی پرتوها (زیستی - فیزیکی) GSF، در فرانکفورت آلمان داشت. این همکاری بعد از او توسط شاگردان و همکاران نیکی تا به امروز ادامه یافته‌است، اگر چه نام (مرکز تحقیقات بهداشت محیط زیست آلمان، بخش علوم پرتوها)<sup>۲</sup> و مکان (مونخ) این مرکز تغییر یافته است.

1- Niky Molho

2- Zentrum München Helmholtz

نیکی در نتیجه‌ی این همکاری، تلاش کرد تا با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار به عنوان ردیاب‌ها روی متابولیسم عناصر چندگانه، تحقیق کند و حوزه‌ی تحقیقاتی مهم و جدیدی در رشته‌های مختلف پزشکی از جمله حفاظت پرتوی، پدید آورد. نتیجه‌ی تحقیقات بیو کینتیک در خصوص تایید و بازبینی مدل‌های بیوسینتیک برای رادیو نوکلئیدهای انتخاب شده که توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیکی، ICRP، ارائه شد، بیش از ۲۵ سال قبل توسط نیکی ابداع گردید.

نیکی در سال ۱۹۸۲ استاد تمام وقت و فعال دانشگاه پزشکی میلان و استاد راهنمای رساله‌های فیزیک پزشکی شد و وظیفه‌ی خود را با اشتیاق زیادی انجام می‌داد.

نیکی در راستای فعالیت‌های تحقیقاتی و تدریس خود، زمان زیادی را صرف ارتقای فیزیک پزشکی در همه‌ی سطوح کرد زیرا او اهمیت این شاخه‌ی میان رشته‌ای فیزیک را درک کرده بود. او بیشترین فعالیت را در حوزه‌ی ابداعات در ایتالیا و اروپا داشت. به عنوان مثال یک نمونه آن، سازماندهی مدرسه‌ی پیشرفته فیزیک پزشکی EFOMP در کومو<sup>۱</sup> ایتالیا، در ماه می سال ۱۹۹۲ بود. این مرکز با "تحقیقات بیولوژیسم با استفاده از طیف‌نمای رزونانس مغناطیسی و توموگرافی نوری پوزیترون" سرو کار داشت که مشارکت‌کنندگان آن از سراسر اروپا بودند.

دانشجویان و همکاران آن زمان این مرکز اکنون در سمت‌های مختلفی در اروپا و ایتالیا، مشغول هستند و ما همه به خوبی تلاش‌های مستمر نیکی را در خصوص پرسش‌ها و نیازهای خود، به یاد می‌آوریم. او با دانشجویان جوان فیزیک در خصوص موضوعات دشوار و بحث برانگیز گفتگو می‌کرد تا ذهن آنها را آماده و باز کند و تنها یک استاد صبور و پر شور می‌تواند چنین کند. بسیاری از ما همیشه برای او به عنوان "پدر دوم" احترام قائل هستیم.

ماریه کلر کنتون<sup>۲</sup>

1- Como

2- Marie Claire Cantone

## مقدمه مترجمان

این نور و گرمایی که می‌روید ز خورشید

در پهنه منظومه ما

جان آفرین است

هستی ده و هستی فزای هرچه در روی زمین است

ما هیچ‌کس مانند خورشید

نوری و گرمایی که جان بخشد به این عالم نداریم

اما به سهم محبتش و در محدوده خویش

ما نیز از خورشید، چیزی کم نداریم

با نور و گرمای محبت

نیروی هستی بخش خدمت

در بین مردم می‌توان آسان درخشید

دیگران تابید و جان تازه ای بخشید

"زمانی که شما بتوانید موضوعی را که درباره آن اظهار نظر می‌کنید، اندازه‌گیری نمایید و آن را به صورت مجموعه‌ای از قوانین و اعداد بیان نمایید، در این مورد است که به دانش در خصوص آن موضوع دست یافته‌اید. اما چنانچه نتوانید آن را اندازه‌گیری کنید، دانش شما از آن موضوع کافی و رضایت بخش نیست و این ممکن است تنها آغاز مرحله اول علم باشد."

مرور چندباره جملات ویلیام تامسون که در قرن ۱۹ میلادی در خصوص علم فیزیک بیان داشت، خود به حد کافی گویاست که موفقیت، صحت و دقت تمام زمینه‌های علوم، اعم از پزشکی و جز آن، جز با بیان دقیق و موشکافانه فیزیکی، هرگز ممکن نبوده و نخواهد بود. از این حیث است که فیزیک، تمام زمینه‌های علمی و تخصصی را در نوردیده و حوزه نوین پزشکی هسته‌ای نیز از این قاعده مستثنا نیست.

شاخه پزشکی هسته‌ای در دهه‌های اخیر، با رشد و توسعه روزافزون به یکی از شاخه‌های تعیین‌کننده میزان پیشرفت پزشکی تبدیل گردیده و با توجه به پتانسیل بی‌بدیل و ضریب اثرگذاری شگرف خود، می‌توان وسعت عملکرد و پیشرفت بسیار وسیع تری نسبت به آنچه که تاکنون داشته و ارائه داده برای این شاخه نوپای پزشکی متصور بود. کاربردهای متنوع و خیره‌کننده رادیوداروهایی که دائماً در حال بهینه شدن هستند، به علم پزشکی هسته‌ای این اجازه را می‌دهد تا در برخی جنبه‌های تشخیصی و درمانی، کاملاً بی‌رقیب و بی‌بدیل باشد. گستره بی‌نظیر کاربردهای پزشکی هسته‌ای ما را بر آن داشت تا با درک اهمیت موضوع نسبت به ترجمه یکی از آخرین دستاوردهای اثرگذار در این زمینه اقدام نموده و سهمی اندک در معرفی و ارائه آن به متقاضیان امر داشته باشیم.

کتابی که هم‌اکنون در دسترس دارید ترجمه کتاب با ارزش *Radiation Physics For Nuclear Medicine* نوشته ماریه کار کنتون *Marie Claire Cantone* است که در ۱۴ فصل به بیان مطالب پایه‌ای، کلیدی، کاربردی و زین در حوزه فیزیک پزشکی هسته‌ای می‌پردازد. مطالب کتاب به گونه‌ای است که در عین حال به راحتی می‌تواند برای علاقمندان به مطالب بنیادین فیزیک در پزشکی هسته‌ای جذاب باشد، مربع مناسب هم برای پزشکان متخصص پزشکی هسته‌ای و تکنولوژیست‌های این رشته نیز قلمداد شود. در ترجمه کتاب سعی شده است که شیوایی و رسایی متن اصلی با دقت و وسواس خاصی که مترجمین به آن متعهد بوده‌اند، رعایت گردد و این بازگرداننده تازگی است در این راستا. امیدواریم که علاوه بر گروه‌های یاد شده سایر دانشجویان و علاقمندان در تمام کسانی که به نوعی نیاز به آشنایی با درس فیزیک پزشکی هسته‌ای دارند نیز از آن بهره‌مند گردند. همچنین در ترجمه این کتاب، سعی وافر مترجمین بر آن بوده که با رعایت اصل امانت در ترجمه، تا حد امکان از اصطلاحات تخصصی ساده و معادل فارسی واژگان تخصصی استفاده گردد مگر واژگانی که با همان عنوان اصلی به کار می‌روند. با این وجود، مترجمین صمیمانه اذعان دارند که این ترجمه به رغم تمام تلاشها و حساسیت‌های صورت گرفته در این خصوص، خالی از

اشکال نیست و راهنمایی‌های ارزنده صاحب‌نظران، همکاران و محققان گرامی در چاپ‌های بعدی رافع کاستی‌های احتمالی خواهد بود.

این برگردان بدون حمایت و مساعدت‌های اساتید و همراهان ارزشمندمان، هرگز رنگ حضور نمی‌گرفت.

اولین پاس به پیشگاه حضرت دوست که هر چه هست همه از الطاف اوست تشکر و سپاس از ریاست محترم "دانشکده پزشکی" و مرکز تحقیقات "پرتو و موج" دانشگاه علوم پزشکی آجا

جناب آقای دکتر بابک شکارچی بابت همکاری‌های ارزنده‌شان

تشکر و سپاس از مدیریت محترم "نشر و دانش" معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی آجا

جناب آقای دکتر آیدان حاج‌بیت حمایت‌های بی‌شائبه‌شان

تشکر و سپاس از سرکار خانم دکتر میروزه محرابی بابت همکاری‌های مجدانه‌شان و در نهایت تشکر و سپاس از دوست گرانقدره زینب فرزانه که در بازخوانی چندباره نسخ و فرمول‌های کتاب دقت و صبر و وصله‌سیا، مصروف داشتند.

نامشان زمزمه نیمه شب مستان باد تا نگویند نه زیاد فراموشانند

این تمام چیزی است که می‌توانستیم، نه تمام چیزی که می‌خواستیم.

با تقدیم احترامات بی‌پایان

فرهاد منوچهری، حامد باقری، سیمین عباسی مجرد