

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اصول و فنون اندازه‌گیری هسته‌ای

اصول و فنون اندازه‌گیری هسته‌ای

سید امیر حسین فقهی

سیدمهرداد زمزمیان

تقدیم به

روح پاک شهدای هسته‌ای

فهرست مطالب

پیشگفتار	سیزده
فصل اول: الکترونیک هسته‌ای	۱
آزمایش ۱. مقدمه‌ای بر سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی	۱
آزمایش ۱.۱. مشاهده خروجی‌های مستقیم و تضعیف‌شده از منبع پالس	۵
آزمایش ۲.۱. استفاده از منبع پالس به‌عنوان ورودی خطی به نمونه‌ای از سیستم شمارش	۱۰
آزمایش ۳.۱. استفاده از یک تحلیلگر تک‌کاناله	۱۴
فصل دوم: شمارش و طیف‌نگاری	۱۷
آزمایش ۱. شمارش با گایگر	۱۷
آزمایش ۱.۱. فلات عملیاتی برای لوله گایگر	۱۸
آزمایش ۲.۱. تعیین نیمه عمر	۲۰
آزمایش ۳.۱. اصلاحات مرتبط با زمان تفکیک برای شمارنده گایگر	۲۱
آزمایش ۴.۱. ضریب جذب خطی	۲۲
آزمایش ۵.۱. قانون مربع معکوس	۲۳
آزمایش ۶.۱. آمار شمارش	۲۵
آزمایش ۲. طیف‌نگاری از گاما به کمک NaI(Tl)	۳۰
آزمایش ۱.۲. کالیبراسیون انرژی	۳۱
آزمایش ۲.۲. تحلیل انرژی یک چشمه گامای ناشناخته	۳۴
آزمایش ۳.۲. تحلیل طیف‌های حاصل از ^{137}Cs و ^{60}Co	۳۵
آزمایش ۴.۲. وضوح انرژی	۳۶
آزمایش ۵.۲. تعیین فعالیت چشمه گاما (روش نسبی)	۳۸
آزمایش ۶.۲. تعیین فعالیت چشمه گاما (روش مطلق)	۳۹
آزمایش ۷.۲. ضریب تضعیف جرمی	۴۱
آزمایش ۸.۲. گیت خطی در طیف‌نگاری از گاما	۴۲
آزمایش ۹.۲. تحلیل قله مجموع	۴۷
آزمایش ۱۰.۲. جذب فوتوالکتریک	۴۹

آزمایش ۳. طیف‌نگاری از آلفا به کمک آشکارسازهای سد سطحی	۵۲
آزمایش ۱.۳. طیف‌نگاری ساده از چشمه آلفا و کالیبراسیون انرژی با منبع پالس	۵۴
آزمایش ۲.۳. تعیین انرژی چشمه آلفای ناشناخته	۵۷
آزمایش ۳.۳. کالیبراسیون انرژی با استفاده از دو چشمه آلفا	۵۸
آزمایش ۴.۳. فعالیت مطلق یک چشمه آلفا	۶۰
آزمایش ۵.۳. نرخ واپاشی چشمه ^{241}Am	۶۱
آزمایش ۴. طیف‌نگاری از بتا	۶۴
آزمایش ۱.۴. کالیبراسیون با منبع پالس	۶۸
آزمایش ۲.۴. تعیین مقدار حد نهایی انرژی بتای چشمه ^{204}TI	۷۱
آزمایش ۳.۴. نسبت انتقال‌ها در الکترون‌های تبدیل	۷۴
آزمایش ۵. طیف‌نگاری وضوح- بالا از گاما	۷۶
آزمایش ۱.۵. وضوح انرژی یک آشکارساز HPGe	۸۳
آزمایش ۲.۵. کارایی فوتوپیک برای آشکارسازهای HPGe	۸۷
آزمایش ۳.۵. کارایی و قله‌های فرار برای آشکارسازهای HPGe	۹۰
آزمایش ۴.۵. پاسخ آشکارسازهای HPGe به گاماها پرنرژی	۹۳
آزمایش ۶. طیف‌نگاری وضوح- بالا از ایکس	۹۶
آزمایش ۱.۶. کالیبراسیون انرژی به وسیله منبع پالس	۹۷
آزمایش ۲.۶. اندازه‌گیری کارایی و کالیبراسیون انرژی با چشمه‌های استاندارد ایکس	۱۰۰
آزمایش ۳.۶. ضریب جذب جرمی برای پرتوهای ایکس	۱۰۴
آزمایش ۷. طیف‌نگاری زمان پرواز	۱۰۷
آزمایش ۱.۷. اندازه‌گیری زمان پرواز ذره آلفا و تلفات انرژی آن	۱۰۷
آزمایش ۲.۷. زمان پرواز فوتون گاما و تعیین سرعت نور	۱۱۳
فصل سوم: روش همزمانی و کاربردهای آن	۱۱۹
آزمایش ۱. روش‌های همزمانی و اندازه‌گیری فعالیت مطلق	۱۱۹
آزمایش ۱.۱. تعیین همزمانی سریع به روش ساده	۱۲۴
آزمایش ۲.۱. همزمانی سریع و مبدل زمان به دامنه	۱۲۵
آزمایش ۳.۱. تعیین فعالیت مطلق به وسیله روش همزمانی	۱۲۹
آزمایش ۲. همزمانی گاما- گاما	۱۳۲
آزمایش ۱.۲. روش اشتراک همزمانی برای اندازه‌گیری همزمانی گاما- گاما چشمه ^{22}Na	۱۳۴
آزمایش ۲.۲. روش گیت خطی برای اندازه‌گیری همزمانی گاما- گاما چشمه ^{22}Na	۱۳۶
آزمایش ۳.۲. روش مبدل زمان به دامنه برای اندازه‌گیری همزمانی گاما- گاما چشمه ^{22}Na	۱۳۹

- آزمایش ۳. نیمه عمرهای هسته‌ای و روش همزمانی ۱۴۱
- آزمایش ۱.۳. اندازه‌گیری طول عمر تراز ۱۴ keV، ایزوتوپ ^{57}Fe با استفاده ... ۱۴۴
- آزمایش ۲.۳. اندازه‌گیری طول عمر تراز ۱۴ keV، ایزوتوپ ^{57}Fe با استفاده ... ۱۴۸
- آزمایش ۳.۳. دیگر آشکارسازهای کاربردی برای انجام دادن آزمایش‌های ۱.۳ و ۲.۳ ۱۵۰

فصل چهارم: اندازه‌گیری‌های نوترونی ۱۵۳

- آزمایش ۱. سطح مقطع کل نوترون و اندازه‌گیری شعاع هسته‌ای ۱۵۳
- آزمایش ۲. آنالیز فعالسازی نوترون (نوترون‌های کند) ۱۶۱
- آزمایش ۱.۲. تعیین شار نوترون ۱۶۴
- آزمایش ۲.۲. اندازه‌گیری سطح مقطع نوترون حرارتی برای واکنش $^{51}\text{V}(n,\gamma)^{52}\text{V}$ ۱۶۵
- آزمایش ۳.۲. تعیین نیمه عمر واکنش $^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$ ۱۶۵
- آزمایش ۴.۲. ضریب اشباع در آنالیز فعالسازی نوترونی ۱۶۸
- آزمایش ۵.۲. مطالعه یک نمونه پیچیده دارای دو نیمه عمر ۱۷۰
- آزمایش ۶.۲. حفاظسازی در برابر نوترون‌های حرارتی ۱۷۱
- آزمایش ۷.۲. اندازه‌گیری سطح مقطع نوترون‌های حرارتی برای عناصری با نسبت حساسیت بالا ۱۷۳
- آزمایش ۳. آنالیز فعالسازی نوترون (نوترون‌های تند) ۱۷۵
- آزمایش ۱.۳. پرتوهای گاما و نیمه عمرهای واکنش‌های (n,P) ۱۷۷
- آزمایش ۲.۳. واکنش‌های (n,P) مطلوب به منظور مطالعه اندرکنش‌های نوترون‌های تند ۱۷۹

فصل پنجم: مطالعات اتمی و هسته‌ای ۱۸۱

- آزمایش ۱. پراکندگی کامپتون ۱۸۱
- آزمایش ۱.۱. مطالعه اجمالی پراکندگی کامپتون (تعیین انرژی) ۱۸۳
- آزمایش ۲.۱. مطالعه اجمالی پراکندگی کامپتون (تعیین سطح مقطع) ۱۸۷
- آزمایش ۳.۱. پراکندگی کامپتون (روش همزمانی) ۱۸۸
- آزمایش ۴.۱. پراکندگی کامپتون (انرژی الکترون پس‌زنی) ۱۹۰
- آزمایش ۲. شمارنده تناسبی و اندازه‌گیری از ایکس‌های کم انرژی ۱۹۳
- آزمایش ۱.۲. کالیبراسیون انرژی ۱۹۴
- آزمایش ۲.۲. ضریب جذب جرمی برای ایکس‌های کم انرژی ۱۹۶
- آزمایش ۳. فلوروسنس پرتو ایکس ۲۰۰
- آزمایش ۱.۳. آشکارسازی فلوروسنس ایکس با شمارنده تناسبی ۲۰۱
- آزمایش ۲.۳. آشکارسازی فلوروسنس ایکس با آشکارساز سیلی [Si(Li)] ۲۰۳
- آزمایش ۴. تلفات انرژی ذرات باردار (آلفاها) ۲۱۰
- آزمایش ۱.۴. توان توقفی ویژه ذرات (dE/dx) آلفا در گذر از مس ۲۱۳

آزمایش ۲.۴. توان توقفی ویژه ذرات (dE/dx) آلفا در گذر از گاز (هلیوم، در صورت امکان).....	۲۱۶
آزمایش ۵. اندازه‌گیری تلفات انرژی پاره‌های شکافت حاصل از ^{252}Cf	۲۱۸
آزمایش ۱.۵. کالیبراسیون انرژی برای پاره‌های شکافت.....	۲۲۰
آزمایش ۶. مطالعه‌ای بر نمودار واپاشی و ارتباط زاویه‌ای ^{60}Co	۲۲۵
آزمایش ۱.۶. اثبات همزمانی گاما-گامای ساطع‌شده از ^{60}Co	۲۲۷
آزمایش ۲.۶. ارتباط زاویه‌ای گاماها حاصل از ^{60}Co	۲۲۹
آزمایش ۷. مطالعه نمودار واپاشی و ارتباط زاویه‌ای ^{244}Cm به کمک آزمایش همزمانی آلفا-ایکس.....	۲۳۴
آزمایش ۸. مطالعه یونش آلفای فرودی در لایه‌های نزدیک به هسته با استفاده از چشمه ^{241}Am	۲۳۹
آزمایش ۱.۸. یونش لایه‌های داخلی تحریک‌شده به وسیله ذرات آلفا.....	۲۴۱
آزمایش ۲.۸. کارایی آشکارساز سیلی.....	۲۴۲
آزمایش ۳.۸. اندازه‌گیری‌های مرتبط با یونش لایه‌های داخلی.....	۲۴۵
فصل ششم: فیزیک بهداشت.....	۲۴۹
آزمایش ۱. اندازه‌گیری آثار زیست‌شناختی تابش و پزشکی هسته‌ای.....	۲۴۹
آزمایش ۱.۱. ملاحظات هندسی در آزمایش‌های پزشکی و رادیوبیولوژیکی.....	۲۵۰
آزمایش ۲.۱. مطالعات هسته‌ای در مورد تزریق ^{131}I به موش‌ها.....	۲۵۳
آزمایش ۳.۱. مطالعات هسته‌ای درباره نفوذدهی فسفر پرتوزا به گیاهان.....	۲۵۵
آزمایش ۲. روش‌های هسته‌ای در مطالعات زیست‌محیطی.....	۲۵۹
آزمایش ۱.۲. مطالعه‌ای بر نمونه‌های محیطی با کمک آنالیز فلوروسنس تحریک‌شده با لوله اشعه ایکس.....	۲۶۰
آزمایش ۲.۲. مطالعه‌ای بر نمونه‌های محیطی با کمک آنالیز فلوروسنس تحریک‌شده با چشمه.....	۲۶۳
آزمایش ۳.۲. مطالعه‌ای بر نمونه‌های محیطی با کمک آنالیز فعالسازی نوترونی و طیف‌نگاری وضوح-بالا از گاما.....	۲۶۷
آزمایش ۳. اندازه‌گیری‌های مرتبط با فیزیک بهداشت.....	۲۷۲
آزمایش ۱.۳. شدت گاما بر حسب تابعی از فاصله.....	۲۷۵
آزمایش ۲.۳. شدت گامای اندازه‌گیری‌شده با یک شمارنده گایگر.....	۲۷۸
آزمایش ۳.۳. اثربخشی حفاظ‌سازی با مواد مختلف در برابر پرتوهای گاما.....	۲۷۹
آزمایش ۴.۳. تضعیف ذرات بتا در آلومینیوم با استفاده از روش گایگر مولر.....	۲۸۱
روش کار.....	۲۸۲
آزمایش ۵.۳. تضعیف ذرات بتا در آلومینیوم با استفاده از روش آشکارساز سدسطحی.....	۲۸۴
آزمایش ۶.۳. مطالعه‌ای بر پارافین به‌عنوان حفاظی در برابر نوترون.....	۲۸۶
آزمایش ۷.۳. مطالعه‌ای بر سرب به‌عنوان حفاظی در برابر نوترون.....	۲۸۸

پیوست	۲۹۱
الف. استانداردهای سیگنال منطقی و خطی در الکترونیک هسته‌ای	۲۹۱
ب. جدول‌ها	۲۹۳
ب.۱. حساسیت‌های نسبی عناصر به فعالسازی با نوترون	۲۹۳
ب.۲. انرژی‌های نشر و جذب بحرانی ایکس	۲۹۴
ب.۳. توزیع مربع کای	۲۹۶
ب.۴. جدول تناوبی	۲۹۹
ج. مختصری بر اصول نگارش یک گزارش علمی	۳۰۰
د. واژه‌نامه توصیفی	۳۰۵
واژه‌نامه فارسی- انگلیسی	۳۱۳
واژه‌نامه انگلیسی- فارسی	۳۱۷
نمایه	۳۱۹

پیشگفتار

کتاب حاضر شامل آزمایش‌هایی است که در زمینه علم هسته‌ای بسیار پایه‌ای و مهم تلقی می‌شوند. با انجام دادن هر یک از این آزمایش‌ها می‌توان به‌طور تجربی به درک رفتار پرتوها و رادیوایزوتوپ‌ها نائل شد. روند طرح آزمایش‌ها به گونه‌ای است که هر فردی به‌راحتی می‌تواند با کمترین تجربه در زمینه اندازه‌گیری سیستم مربوط را راه‌اندازی کند و به نتیجه برسد. همواره فقدان چنین کتابی که به‌طور جامع دربرگیرنده بخش بزرگی از آزمایش‌های هسته‌ای باشد به شدت احساس می‌شد. در این زمینه بیشتر آزمایشگاه‌ها، چند صفحه راهنما را در اختیار آزمایش‌کنندگان قرار می‌دادند که در آن آزمایش‌ها به اختصار توضیح داده شده بود. انسجام نداشتن مطالب و بیان نارسای روش کار از ایرادهای اساسی این رویه بود که موجب سردرگمی و گاهی نتیجه نگرفتن آزمایش‌کنندگان می‌شد. به کمک کتاب حاضر می‌توان از جزئیات هر آزمایش، شامل تجهیزات مورد نیاز و هدف آزمایش و نتیجه‌گیری اطلاع لازم را کسب کرد تا بدین ترتیب، تأثیری که کار تجربی بر تثبیت آموخته‌ها دارد به بهترین وجه ممکن القا شود. با توجه به گوناگونی آزمایش‌ها، این کتاب می‌تواند برای دانشجویان رشته‌های مهندسی هسته‌ای (کاربرد پرتو، پرتوپزشکی، راکتور) و فیزیک هسته‌ای سودمند باشد. از آنجا که هر اثری عاری از خطا نیست و علم بی‌خطا مختص ذات الهی است، این کتاب نیز از این بابت مستثنا نیست. از این رو برای بهبود کیفیت این کتاب از همه پیشکسوتان، استادان، دانشجویان و فعالان این عرصه خواهشمندیم نظرات خود را درباره مجموعه حاضر به اطلاع نویسندگان کتاب برسانند.

A_fegghi@sbu.ac.ir
mehrddad.zamzamian@gmail.com

سید امیرحسین فقهی

سید مهرداد زمزمیان

۱۳۹۴