

آشکار سازی رویای هسته‌ای حالت جامد

اصول، روش ها و کاربردها

مؤلفان

اس. اسی. دورانی و ریچارد کی. بال

مترجم

رعنا سلیمی

سلیمی، رعنا، ۱۳۵۰ -، مترجم،
آشکارسازی ردپای هسته‌ای حالت جامد: اصول، روش‌ها و کاربردها/ اس.ای. دورانی و ریچارد
کی بال؛ ترجمه رعنا سلیمی
تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۹۲.
۴۱۳ ص.:: مصور، جدول، نمودار.

ISBN: 978-600-92579-8-0

فهرست نویسی براساس اطلاعات فیا
عنوان اصلی:

Solid State nuclear track detection : principles, methods, and applications

۱. آشکارسازهای ردپای هسته‌ای

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

رده‌بندی کنگره: QC ۷۸۷/ ۱۳۹۲۵۳۹

رده‌بندی دیویی: ۵۳۹/۷۷

شماره کتابشناسی ملی: ۳۱۰۶۶۲۴

نام کتاب: آشکارسازی ردپای هسته‌ای حالت جامد، اصول، روش‌ها و کاربردها

مترجم: رعنا سلیمی

ویراستار: شروین گودرزی

ناظر فنی: فریبا علی اکبری

ویرایش صفحه‌بندی، شادی معماری آذر

نمونه‌خوان، مهدیه السادات عامل ابراهیمی

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

چاپ: ۱۳۹۲

نوبت چاپ: اول

قیمت: ۲۰۰۰۰۰ ریال

حروف چینی، چاپ و صحافی: پیام رسان فردا، تلفن: ۸۸۷۲۸۰۰۲

ناشر: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۲۵۷۹-۸-۰



پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

کلیه حقوق چاپ و انتشار این اثر متعلق به پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای می‌باشد.

کتاب حاضر پس از مدت زمانی طولانی چاپ و منتشر شد. اس. ای. دورانی^۱ نویسندهٔ اول کتاب، در سال‌های ۱۹۷۳ الی ۱۹۷۴ آن را جهت چاپ به انتشارات پرگامون، آکسفورد^۲ پیشنهاد داد و پس از آن بلافاصله قرارداد مربوط تنظیم شد. اما پیش از آنکه پیشرفت زیادی حاصل شود کتاب فلاشر، پرایس و واکر^۳، یعنی پیشگامان تکنیک آشکارسازی ردپای هسته‌ای حالت جامد^۴، نوشته شد و در سال ۱۹۷۵ وارد بازار شد که کتابی مورد توجه و جالب بود و سرفصل‌های آن به طرز استادانه‌ای همه یا اغلب موضوعات عنوان شده و آزمایش‌های انجام شده تا سال ۱۹۷۳ را پوشش می‌داد. بدین ترتیب نیاز به کتاب دیگری در این زمینه برای چند سالی برطرف شد و دورانی برای انتشار کتاب خود منتظر فرصت مناسب تری ماند. وی در همین زمان تمام تلاش خود را به عنوان ویراستار اول، روی مجلهٔ آشکارسازی ردپای هسته‌ای^۵ (که اواخر دههٔ ۱۹۸۰ به اندازه‌گیری‌های ردپاهای هسته‌ای و تابش^۶ تغییر نام یافت) متمرکز کرد. به‌طوری که پس از آن اد اد صاحب‌نام و متخصص در این زمینه، (از جمله رابرت فلاشر) نیز به عضویت مجله در آمدند. مجلهٔ مذکور در نتیجهٔ تسویق‌های شخصی آقای رابرت ماکسول^۷، رئیس انتشارات پرگامون، آکسفورد در ماه مارس سال ۱۹۷۷ به‌طور سازمان یافته شروع به کار کرد که به نوعی نتیجهٔ فرعی قرارداد تنظیمی برای این کتاب به شمار می‌رفت. در آغاز دههٔ ۱۹۸۰ موضوعات جدید و گستردهٔ بسیاری در زمینهٔ مبحث SSNTD^۸ مطرح شده بود به‌طوری که خوانندگان و متخصصان آشکارسازی ردپای هسته‌ای به کتاب جدیدتری مطابق با مباحث روز نیاز داشتند. بنابراین دورانی برای نوشتن کتاب خود بیدرنگ از مؤلف دوم (آر. کی. بی^۹)، محقق

^۱ S. A. Durrani

^۲ Pergamon Press, Oxford

^۳ ردپاهای هسته‌ای در جامدات: اصول و کاربردها نویسندگان آر. ال. فلاشر؛ پی. بی. پرایس و آر. ام. واکر (R. L. Fleischer, P. B. Price & R. M. Walker)، انتشارات دانشگاه کالیفرنیا، برکلی (۱۹۷۵)

^۴ Solid State Nuclear Track Detection

^۵ Journal Nuclear Track Detection

^۶ زمان نگارش کتاب

^۷ Nuclear Tracks and Radiation Measurements

^۸ Robert Maxwell

^۹ Solid State Nuclear Track Detection

^{۱۰} R. K. B

دپارتمان فیزیک دانشگاه بیرمینگام^۱، که به عنوان ویراستار جهت بازنگری کتاب عضو هیئت تحریریه مجله شده بود، دعوت به همکاری کرد تا با وی کتاب را بنویسد. اولین نسخه پیش‌نویس کتاب در زمستان ۸۲-۱۹۸۱ کامل شد. همکاران ما در دانشگاه این نسخه را با دقت و وسواس مطالعه کرده‌اند و دکتر پی. اف. گرین^۲ پیشنهادهای بسیار سودمند و سازنده‌ای ارائه داده‌اند که از این بابت بی‌نهایت مدیون رهنمودهای ایشان هستیم. بدین ترتیب نسخه بازنگری شده کتاب کامل شد و در ابتدای سال ۱۹۸۳ برای ناشر فرستاده شد. ترسیم شکل‌ها، گردآوری تصاویر و مثال‌های تشریحی، رفع کمبودها (درباره جزئیات مراجع و غیره) تا اواسط سال ۱۹۸۳ به‌طول انجامید. متأسفانه پس از آن نیز تهیه کتاب با کمی تأخیر و مشکل همراه شد که این مشکلات در نهایت تا پاییز سال ۱۹۸۳ برطرف شد. آخرین ویرایش ادبی کتاب در اواسط سال ۱۹۸۴ انجام شد در حالی که تقریباً ۲۰٪ مراجع جدید به کتاب اضافه شده بود (که بدین ترتیب مراجع به کار رفته بالغ بر ششصد مرجع است). مراجع مذکور بر اساس نامگذاری انجام شده (همانند الف، ۱۷، اب و غیره) مشخص شده‌اند. همچنین جهت به روز بودن کتاب در تابستان سال ۱۹۸۴ چند مبحث جدید دیگر نیز به مباحث قبلی آن افزوده شد. بدین ترتیب نسخه اولیه کتاب در اواسط فوریه ۱۹۸۴ آماده شد و در بهار ۱۹۸۵ تأیید شد، در حالی که در برخی قسمت‌های کتاب از جمله فصل نهم چند پاراگراف جدید اضافه شده بود. کتاب با برنامه‌ریزی قبلی، همزمان با سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی^۳ «آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد» - ۲۳ الی ۲۷ سپتامبر ۱۹۸۵ در رم - انتشار یافت. کتاب حاضر در مقایسه با کتاب فلاشر، پرایس و واکر حجم کمتری دارد و هدف مشخص‌تری را دنبال می‌کند. مخاطبان این کتاب کسانی هستند که برای اولین بار در زمینه SSNTD تحقیق می‌کنند، کسانی که می‌خواهند به دانش پایه‌ای از این روش دست یابند یا یک دید کلی از موضوعات جدید در این زمینه داشته باشند که البته امیدواریم افراد مجرب‌تر

^۱ Birmingham

^۲ P.F. Green

^۳ توضیحات اضافی درباره مستندات مورد استفاده در کتاب: اولین بازخوانی و تصحیح مستندات کتاب در طول ژوئن تا فوریه سال ۱۹۸۵ متأسفانه موجب تغییرات زیادی در متن و موضوعات چاپ شده دیگر، در بخش عمده‌ای از کتاب شد (که امیدواریم در جهت بهبودی بوده باشد). به‌طوری که انتشارات مجبور به بازنویسی آن شد. مستندات بازنگری شده در ژانویه ۱۹۸۶ دریافت شدند که این تأخیر طولانی باعث تأسف است. انجمن بین‌المللی ردپاهای هسته‌ای، که در اصل در کنفرانس دوازدهم در آکاپالکو در سال ۱۹۸۳ پیشنهاد داده شده بود، تشکیل شده بود و در کنفرانس رم در سپتامبر ۱۹۸۵ رسماً آغاز به کار کرد.

با متخصصان ردپای هسته‌ای نیز نکات ارزشمند و درخور توجه در آن بیابند. این کتاب برای افراد غیرمتخصصی که می‌خواهند روش SSNTD را در زمینه خاصی به کار گیرند و در جستجوی متن‌های مقدماتی مختصر هستند نیز مفید است. همچنین کتاب برای دانشجویان فارغ‌التحصیلی که روی پایان نامه کارشناسی ارشدشان در رشته‌های فیزیک کاربردی، شیمی هسته‌ای یا زمین‌شناسی ایزوتوپی کار می‌کنند و برای محققان و فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و پسادکتر در رشته‌هایی در این زمینه (مانند علوم و مهندسی هسته‌ای، حفاظت در برابر پرتوها، فیزیک پزشکی، باستان‌شناسی، دزیمتری و غیره) مفید است. در نهایت بخش‌هایی از کتاب به دانشجویان سال آخر دوره کارشناسی برای انجام آزمایش‌های اسنادی کمک می‌کند که این مطالعات تکمیلی می‌تواند برای آنان امتیازات تحصیلی نیز به همراه داشته باشد. بدیهی است هر کتابی نشان‌دهنده ضعف‌ها و توانایی‌های نویسنده یا نویسندگان آن است و هیچ‌کس نمی‌تواند ادعا کند که کتاب وی عاری از ضعف است و ما نیز چنین ادعایی نداریم. نظر به پیشرفت و رشد سریع دامنه تحقیقات در هر زمینه‌ای از علم و تکنولوژی، مشکل بتوان همگام با دانش روز پیش رفت آنچه در این کتاب بیان شده است، برحسب ضرورت، حاصل تحقیقات و مطالعات ما و نیز با توجه به رهنمودهای همکاران ما است. برای آنکه کتاب دارای حجم و انسجام معقولی باشد می‌بایست از میان مطالب موجود دست به انتخاب می‌زدیم. بدین ترتیب فقط به این دلیل یا به دلیل دریافت برخی تحقیقات پس از ممیزی نهایی کتاب، همکاری‌های علمی برخی از محققان به نحوه شایسته مورد استفاده قرار نگرفته است که از کلیه این محققان عذرخواهی می‌کنیم. با توجه به مخاطبانی که برای کتاب در نظر گرفته شده است و نیز نظر به آنکه مکانیزم‌های اساسی حالت جامد تاکنون به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است در این کتاب بر روش SSNTD و کاربردهای آن بیش از مکانیزم اساسی تأکید می‌شود. برای تشریح اصول اساسی تشکیل ردپا و آشکارسازی آن در جامدات دی‌الکتریک، لازم است تحقیقات آزمایشگاهی و تئوری بیشتری انجام شود. نتایج نشست‌های آخرین کنفرانس SSNTD نشان می‌دهد که تحقیقات بسیار کمی در این زمینه انجام شده است. در فصل آخر کتاب (فصل نه) عناوینی که به نظر می‌رسد بیشترین گرایش‌های احتمالی در آشکارسازی ردپای هسته‌ای و کاربردهای آن است، بیان شده و برخی از پیشرفت‌های موفقیتهای آمیز جدید مشخص شده است. در این کتاب از خلاصه مطالب علمی عنوان شده در کنفرانس‌های بین‌المللی SSNTD استفاده شده است. به خصوص کنفرانس‌های نهم، دهم، یازدهم و

دوازدهم که به ترتیب در مونیخ^۱ سال ۱۹۷۶، لیون^۲ سال ۱۹۷۹، بریستول^۳ سال ۱۹۸۱ و آکاپالکو^۴ سال ۱۹۸۳ برگزار شده‌اند^۵ و همه آنها در مجله اندازه‌گیری‌های ردپاهای هسته‌ای و تابش (نام کنونی آن) به عنوان ضمیمه (یا با شماره‌های مخصوص) منتشر شده‌اند. علاوه بر آن منابع مفید دیگر در این زمینه، روش‌ها و ابزار هسته‌ای^۶، آثار تابش^۷، فیزیک بهداشت^۸، علم سیارات و زمین^۹، مجله تحقیقات ژئوفیزیکی^{۱۰}، مجله بین‌المللی کاربرد پرتو و رادیوایزوتوپ‌ها^{۱۱} و دیگر مجلات عمومی مانند مجله طبیعت، علوم و مجله فیزیک، بوده‌اند.

جای آن دارد که از همکاران خود در داخل و خارج از کشور و نیز تعدادی از دانشجویان که به شکل‌های مختلف و با پیشنهادهای سازنده در رفع کمبودها و نواقص کتاب به ما یاری رسانده‌اند سپاسگزاری کنیم. همچنین لازم است از تعدادی از مؤلفین که به سهولت اجازه کپی اشکال از انتشارات‌شان را به ما دادند تشکر کنیم^{۱۲} (که در عناوین شکل‌های مذکور به منبع آن اشاره شده است). از آر. برت^{۱۳} و همکاران دیگر ایشان (پی. واتر^{۱۴}، ای. یو. خان^{۱۵} و دیگران) به‌خاطر استفاده از تجهیزات آزمایشگاه ایشان جهت مشاهده پدیده شکافت چندشاخه‌ای، بسیار سپاسگزاریم. از ای. وی. بنتون^{۱۶} و آر. پی. هنکه^{۱۷} برای کپی برنامه کامپیوتری محاسبه برد ذرات که در پیوست ۱ کتاب آمده است، تشکر ویژه می‌کنیم.

¹ Munich

² Lyon

³ Bristol

⁴ Acapulco

^۵ این خطوط قبل از کنفرانس رم (۱۹۸۵) نوشته شده‌اند، یعنی پیش از آنکه دستاوردهای آن در جلد دوازدهم ردپاهای هسته‌ای (۱۹۸۶) منتشر شده باشند. در انتهای فصل نهم کتاب نکات قابل توجه کنفرانس رم منعکس شده است.

⁶ Nuclear Instruments and Methods

⁷ Radiation Effects

⁸ Health Physics

⁹ Earth and Planetary Science Letters

¹⁰ Journal of Geophysical Research

¹¹ The International Journal of Applied Radiation and Isotopes

^{۱۲} در اینجا از ذکر نام این افراد که برای خوانندگان فارسی زبان مفید نیست صرف‌نظر می‌شود. —

¹³ R. Bradt

¹⁴ P. Vater

¹⁵ E. U. Khan

¹⁶ E. V. Bemton

¹⁷ R. P. Henke

نسخه خطی کتاب، در مراحل گوناگون توسط خانم‌ها آیلین شین^۱، سوزان یئومانس^۲، اریکا گایزی^۳ و پائولین تووین^۴ تایپ شده است، که از ایشان به‌خاطر مهارت و شکیبایی‌شان بسیار قدردانی می‌کنیم. اینجانب (آر. کی. بال) مایلم از مؤسسه تحقیقات انرژی اتمی، هارول^۵ برای اجازه انتشار کتاب سپاسگزاری نمایم. البته باید اشاره شود که پیش‌نویس کتاب هنگامی که هنوز من عضو دپارتمان فیزیک دانشگاه بیرمنگام بوده‌ام تکمیل شده است. در پایان از کلیه کارکنان انتشارات آکسفورد که ما را در تهیه کتاب یاری کرده‌اند قدردانی و تشکر می‌کنیم. به‌خصوص از مدیر سابق انتشارات (علوم فیزیکی) آلفای پی. ای. هن^۶ به‌خاطر تواضع بی‌پایان و صوری فراوان ایشان در مدت زمان طولانی تغییر و تکمیل کتاب جهت وارد کردن مراجع و موضوعات جدید، قدردانی به عمل می‌آید. به همین ترتیب از کمک‌های آقای فلیپ هالسی^۷ و همکاران کارآمد ایشان در دفتر ترسیم انتشارات برای رسم شکل‌ها بدون عیب و نقص و با همه جزئیاتی که مد نظر ما بوده است، قدردانی فراوان می‌کنیم. همچنین از کاترین شفرد^۸ سرپرست کنونی مؤسسه انتشارات پرگامون و مدیر پروژه تشکر می‌کنیم. در پایان، سخن گزافی نگفتیم اگر بگوییم در طول چندین سال که به‌طور شبانه‌روزی مشغول نوشتن این کتاب و به ثمر رساندن آن بودیم، خانواده‌های ما بردباری و لطف بسیار نشان دادند و اشتغال کاری ما در خارج از خانواده را پذیرا شدند. نوشتن کتاب کاری طاقت فرساست و سخت‌تر و پرمشغله‌تر از زایمان است. لازم می‌دانیم از خانواده‌های خود به‌خاطر پشتیبانی و همراهی‌شان تشکر ویژه کنیم. در انتها از مخاطبانی که زحمت خواندن کتاب را متحمل می‌شوند سپاسگزاری می‌کنیم و امیدواریم کتاب مثمر ثمر واقع شود.

دانشگاه بیرمنگام

سعید آ. دورانی

مؤسسه تحقیقات انرژی اتمی، هارول

ریچارد کی. بال

۲۴ ژوئن، ۱۹۸۵ و (۱۲ مارس ۱۹۸۶)

¹ Elien Shin

² Susan Yeomans

³ Erica Gaize

⁴ Pauline Tevlin

⁵ Atomic Energy Research Establishment, Harwell

⁶ P. A. Henn

⁷ Philip Halsey

⁸ Catherine Shephard

قدردانی برای کپی اشکال

علاوه بر مؤلفانی که از شکل‌های آنها (گاهی با انجام اصلاحات) کپی برداری شد و در پیشگفتار به‌طور ویژه از آنها تشکر کردیم، لازم است از انتشارات ذیل که اجازه دادند از شکل‌های آنها کپی برداری شود نیز تشکر و قدردانی کنیم. کلیه مراجع مورد استفاده در هر فصل در انتهای آن آمده است و برای هر شکل نیز در زیرنویس آن مرجع شکل ذکر شده است.

تیلور و فرانسیس (شکل‌های ۱-۱، ۴-۱، ۴-۲، ۸-۸)

مؤسسه فیزیک آمریکا و انجمن فیزیک آمریکا (شکل ۲-۲)

انتشارات دانشگاه کالیفرنیا (شکل ۳-۱)

انتشارات علوم الزویر (شکل‌های ۳-۳، ۳-۴، الف، ۲-۵، ۸-۱۱)

شرکت انتشارات هلند شمالی (شکل‌های ۴-۳، ۴-۶، الف و ب، ۵-۶، الف و ب، ۹-۶).

انتشارات علوم گوردون و بریج (شکل ۴-۹، الف و ب)

مجلات مکنه میلان (شکل ۶-۷)

اتحادیه جغرافیای آمریکا (شکل‌های ۷-۹ و ۸-۱۰)

www.ketab.ir

پیشگفتار مترجم

کتاب حاضر، کتابی جامع برای آشکارسازهای حالت جامد ردپای هسته‌ای است که هر چند در مقایسه با کتاب فلاشر، برایش واکر خلاصه‌تر تهیه شده است، ولی اصول، روش‌ها و کاربردهای این آشکارسازها را به طور مختصر و مفید بیان خواهد کرد، به طوری که یک کتاب مرجع در زمینه آشکارسازی ردپای هسته‌ای محسوب شود. کمتر مقاله‌ای را می‌توان یافت که یکی از مراجع آن را به کتاب ذکر شده ارجاع نداده باشند. آشکارسازهای ردپای هسته‌ای از اوایل دهه ۱۹۶۰ بلافاصله پس از کشف آنها، به لحاظ دامنه کاربرد، سادگی و توانایی آنها در علوم مختلف از جمله: باستان‌شناسی، زمین‌شناسی، فیزیک فضا، پزشکی، بیولوژی، حفاظت در برابر پرتو، فیزیک راکتور، فیزیک هسته‌ای و علم مواد گسترش بسیار یافته‌اند. متأسفانه علیرغم دوام، ماندگاری، سادگی کاربرد و خواص ویژه آنها در کشور ما چندان این آشکارسازها مورد توجه واقع نشده است؛ امید می‌رود که ترجمه این کتاب در معرفی و به کارگیری هرچه بیشتر این آشکارسازها در علوم مختلف مفید واقع شود. کتاب، حاصل دستاوردها و پژوهش‌های محققان بسیاری است و در این میان نام دکتر مهدی سهرابی، محقق ایرانی نیز به چشم می‌خورد. دزیمتر نوترایران که در دزسنجی نوترون به کار می‌رود و بر اساس آشکارسازی ردپای نوترون طراحی شده است نیز به نام ایشان به ثبت رسیده است.

علیرغم همه تلاش‌های اینجانب به منظور تهیه نسخه الکترونیکی کتاب، موفقیتی در انجام آن حاصل نشد. لذا به دلیل در دسترس نبودن نسخه الکترونیکی، اقدام به تهیه عکس از تمامی شکل‌های کتاب نموده که عکس‌ها پس از ویرایش به متن ترجمه شده افزوده شده است. سعی شده است که تصاویر از کیفیت قابل قبولی برخوردار باشند. در طرح روی جلد کتاب، چهار تصویر دیده می‌شود که تصویر مرتبط با رد پاره‌های شکافت در آزمایشگاه حالت جامد ردپای هسته‌ای اصفهان تهیه شده است.

در پایان لازم است از کلیه کسانی که اینجانب را در ترجمه این کتاب یاری داده‌اند صمیمانه سپاسگزاری کنم؛ از آقای دکتر شروین گودرزی، ویراستار کتاب، که زحمت بازخوانی اثر را برعهده داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم و مرهون رهنمودهای ارزشمند ایشان هستم. شایان ذکر است آقای حسین سلیمانی مشوق اینجانب برای ترجمه این اثر بودند و بدون همراهی و تشویق ایشان ترجمه این کتاب میسر نبود، بدون وسیله از ایشان صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم. همچنین از مادر عزیزم و برادر بزرگوارم آقای احمد سلیمی که پیوسته مرا یاری داده‌اند مراتب قدردانی و سپاس را به عمل می‌آورم. از آنجایی که کتاب حاضر یک کتاب مرجع در زمینه آشکارسازی ردپای هسته‌ای محسوب می‌شود بدیهی است که مباحث مطرح شده، علوم مختلف را پوشش می‌دهد، لذا از همکار ارجمندم آقای مهندس فریبرز ریاحی که در مباحث شیمی مرا یاری رساندند بی‌نهایت سپاسگزارم. از آقای دکتر اکبر حریری به خاطر رهنمودهای ارزنده ایشان سپاسگزاری می‌کنم. همچنین از ریاست محترم سازمان انرژی اتمی، مدیریت محترم و کارکنان انتشارات سازمان انرژی اتمی که امکان انتشار این کتاب را فراهم کردند، و آقای دکتر حسین خلعتی معاونت توسعه کاربرد پرتوها، آقای دکتر جمشید خورسندی، سرپرست مجتمع توسعه کاربرد پرتوها، و نیز کلیه کسانی که به هر نحو مرا یاری رساندند، به ویژه آقای کاوه عباسی به خاطر تهیه عکس از نمودارها و شکل‌های کتاب، سپاسگزاری می‌کنم. لازم به ذکر است در چند مورد، در نسخه اصلی کتاب ایرادهایی وجود داشت که در پانوشته به آنها اشاره شده است. بدون شک هیچ کس نمی‌تواند ادعا کند عاری از خطاست و من نیز چنین ادعایی ندارم، لیکن بسیار خرسند خواهم شد چنانچه خوانندگان گرامی ضعف‌ها و نقص‌های کتاب حاضر را به اینجانب منعکس سازند.

فهرست

۱	فصل اول
۱	مقدمه‌ای بر آشکارسازهای ردپای هسته‌ای
۴	۱-۱ اتافک‌های ابر، جاب و جرقه‌ای
۴	۱-۱-۱ اتافک ابر
۶	۱-۱-۲ اتافک جاب
۸	۱-۱-۳ اتافک جرقه‌ای
۹	۲-۱ امولسیون‌های هسته‌ای
۱۱	۳-۱ بلورهای هالوزنه نقره
۱۲	۴-۱ آشکارسازهای ردپای هسته‌ای حالت جامد قابل خورش
۱۵	مراجع
۱۷	فصل دوم
۱۷	برهم‌کنش‌های ذرات باردار با ماده
۱۹	۱-۲ اتلاف‌های ناشی از برخورد هسته‌ای
۲۰	۲-۲ اتلاف‌های انرژی الکتریکی
۲۴	۳-۲ محصولات مستقیم جابه‌جایی‌های اتمی
۲۵	۴-۲ الکترون‌های ثانویه
۲۶	۵-۲ وابستگی‌های برد-انرژی
۲۸	مراجع
۳۱	فصل سوم
۳۱	ماهیت ردپاهای ذرات باردار و برخی مکانیزم‌های ممکن تشکیل ردپا در جامدات عایق
۳۱	۱-۳ تخریب ناشی از تابش در جامدات
۳۴	۱-۱-۳ مدل سایتر
۳۴	۲-۱-۳ مدل وارلی
۳۴	۳-۱-۳ مکانیزم پلی
۳۵	۲-۳ مواد ذخیره‌کننده ردپا
۳۶	۳-۳ شکل‌گیری رد ذرات: آستانه تشکیل ردپا

۴۰	۱-۳-۳ آهنگ افت انرژی کل (dE/dx)
۴۱	۲-۳-۳ یونش اولیه I_0
۴۲	۳-۳-۳ افت انرژی محدود (REL)
۴۳	۴-۳-۳ اتلاف انرژی الکترون ثانویه
۴۴	۵-۳-۳ افت انرژی محدود در راستای شعاعی (RREL)
۴۵	۶-۳-۳ چگالی رویداد پی در پی
۴۵	۴-۳ مطالعات آزمایشگاهی بر روی اندازه و ساختار دنباله‌های تخریبی پنهان
۴۵	۱-۴-۳ میکروسکوپی الکترون
۴۸	۲-۴-۳ پراکندگی اشعه ایکس تحت زوایای کم
۴۹	۳-۴-۳ بازپخت حرارتی ردپاها
۵۰	۴-۴-۳ حد شعاعی تخریب‌های قابل خورش
۵۱	۵-۴-۳ شواهد آزمایشگاهی دیگر ساختار ردپا
۵۱	۵-۳ ارزیابی مدل‌های تشکیل ردپا
۵۴	۱-۵-۳ مدل میله حرارتی
۵۶	۲-۵-۳ مدل میله یون انفجاری
۶۰	مراجع
۶۵	فصل چهارم
۶۵	خورش ردپا، روش‌شناسی و هندسه
۶۷	۱-۴ دستورالعمل‌های خورش ردپا
۶۹	۲-۴ هندسه خورش ردپا
۷۰	۱-۲-۴ V_T سرعت خورش ردپا ثابت
۸۱	۲-۲-۴ تخمین پارامترهای R و V_T برای ردپا
۸۳	۳-۲-۴ بازدهی‌های خورش: چشمه‌های ردپای داخلی و خارجی
۸۳	۱-۳-۲-۴ ردپاهای داخلی
۸۳	۱-۱-۳-۲-۴ چشمه ضعیف
۸۹	۲-۱-۳-۲-۴ چشمه نازک
۹۰	۲-۳-۲-۴ ردپاهای چشمه خارجی
۹۰	۱-۲-۳-۲-۴ چشمه ضعیف
۹۰	۲-۲-۳-۲-۴ چشمه نازک
۹۲	۳-۳-۲-۴ فاکتور خورش طولانی مدت $f(t)$

۹۷	۴-۲-۴ هندسه خورش ردپا با V_T متغیر
۱۰۶	۵-۲-۴ هندسه خورش ردپا در جامدات غیرهمسانگرد
۱۱۱	۳-۴ برخی روش‌های مخصوص اندازه‌گیری پارامترهای ردپا
۱۱۳	۴-۴ آثار محیطی بر روی خورش ردپا
۱۲۰	مراجع

۱۲۵	فصل پنجم
۱۲۵	محو شدن دنباله‌های تخریبی پنهان در اثر حرارت
۱۲۶	۱-۵ ماهیت فرایند بازپخت
۱۲۸	۲-۵ آثار بازپخت بر روی ردپاهای خورده شده
۱۳۳	۳-۵ درجه حرارت‌های نوعی بازپخت برای ردپاهای شکافت در مواد مختلف
۱۳۴	۴-۵ دمای بستگی ساختاری
۱۴۳	۵-۵ روش‌های تصحیح بازپخت
۱۴۴	۶-۵ سفت‌شدگی ردپا
۱۴۶	مراجع

۱۴۹	فصل ششم
۱۴۹	کاربرد ثبت‌کننده‌های دی‌الکترونیک ردپا در شناسایی ذرات
۱۵۱	۱-۶ کالیبراسیون
۱۵۱	۱-۱-۶ نمودار L-R
۱۶۱	۲-۶ تعیین بار
۱۶۲	۳-۶ ذرات کم انرژی
۱۶۳	۴-۶ تفکیک جرم و بار
۱۶۵	۵-۶ برخی کاربردهای تکنیک‌های شناسایی ذرات
۱۶۵	۱-۵-۶ فیزیک پرتوهای کیهانی
۱۷۱	۲-۵-۶ فیزیک هسته‌ای
۱۷۶	۶-۶ پرتوهای کیهانی دیرینه
۱۸۴	مراجع

۱۸۹	فصل هفتم
۱۸۹	دزسنجی پرتو و استفاده از ابزار SSNTD

۱۹۱	۱-۷ دزسنجی نوترون
۱۹۱	۱-۱-۷ نوترون‌های حرارتی
۱۹۶	۲-۱-۷ نوترون‌های با انرژی سریع و متوسط
۲۱۳	۲-۷ دزسنجی ذره آلفا و اندازه‌گیری رادون
۲۲۱	۳-۷ ذرات باردار دیگر غیر از ذرات آلفا
۲۲۱	۳-۷-۱ دزسنجی پرتوهای با انتقال انرژی خطی بالا (high-LET) در فضا
۲۲۲	۳-۷-۲ میکرو دزسنجی باریک‌های پیون منفی
۲۲۳	۴-۷ ابزار SSNTD: ارزیابی اتوماتیک و روش‌های بهبود تصویر ردها
۲۲۳	۴-۷-۱ شمارنده جرقه‌ای
۲۲۸	۴-۷-۲ ابزارهای دیگر شکست الکتریکی
۲۲۹	۴-۷-۳ شمارش حفرة خورش پر شده با سئلاتور
۲۳۲	۴-۷-۴ خورش الکتروشمیایی (ECE)
۲۴۰	۵-۴-۷ سیستم‌های اتوماتیک و نیمه اتوماتیک آنالیز تصاویر
۲۵۰	۶-۴-۷ روش‌های دیگر اندازه‌گیری
۲۵۱	مراجع

۲۶۳	فصل هشتم
۲۶۳	سن‌یابی ردهای شکافت
۲۶۴	۱-۸ سن‌یابی رادیواکتیو
۲۶۵	۲-۸ معادله سن ردهای شکافت
۲۶۹	۳-۸ مراحل عملی اندازه‌گیری سن ردهای شکافت
۲۷۲	۱-۳-۸ روش جمعیت
۲۷۳	۲-۳-۸ روش آشکارساز خارجی
۲۷۷	۴-۸ تفسیر سن ردهای شکافت
۲۸۰	۵-۸ دزسنجی نوترون، ثابت واپاشی شکافت ^{238}U و استانداردهای سن
۲۸۰	۱-۵-۸ اندازه‌گیری شاریدگی نوترون
۲۸۲	۲-۵-۸ ثابت واپاشی شکافت، $\lambda_{p\alpha}$
۲۸۵	۳-۵-۸ استانداردهای سن
۲۸۸	۶-۸ تصحیحات بازپخت
۲۸۹	۱-۶-۸ روش تصحیح اندازه ردها
۲۹۱	۲-۶-۸ روش تصحیح پلاتو

۲۹۴	۷-۸ سن یابی ردپای شکافت نمونه‌های ماه و شهاب‌سنگ‌ها
۲۹۵	۷-۸=۱ پرتوهای کیهانی سنگین نخستین
۳۰۱	۷-۸-۲ شکافت القایی پرتوی کیهانی
۳۰۳	۷-۸-۳ ردپاهای پس زده تلاشی
۳۰۴	۸-۸ ردپاهای شکافت ^{244}Pu در نمونه‌های بسیار کهن
۳۰۴	۸-۸-۱ معادله سن ردپای شکافت ^{244}Pu
۳۰۷	۸-۸-۲ روش چگالی ردپای «همبری»
۳۱۲	۸-۹ سن یابی ردپای شکافت در باستان‌شناسی
۳۱۶	۸-۱۰ خطاهای سن یابی ردپای شکافت
۳۱۸	مراجع
۳۲۵	فصل نهم
۳۲۵	کاربردهای دیگر آشکارسازهای ردپا و همودهایی برای آینده
۳۲۵	۹-۱ کاربردها در فیزیک هسته‌ای
۳۲۵	۹-۱-۱ پدیده شکافت و مطالعات مربوط
۳۳۱	۹-۱-۲ واکنش‌های هسته‌ای دیگر
۳۳۳	۹-۲ توزیع عنصری و کاربردهای بیولوژیکی
۳۳۳	۹-۲-۱ نقشه‌برداری عنصری
۳۳۷	۹-۲-۲ کاربردهای بیولوژیکی
۳۳۷	۹-۲-۲-۱ استشاق ذرات معلق آلفای فعال موجود در هوا
۳۳۸	۹-۲-۲-۲ سرب موجود در دندان‌ها
۳۳۹	۹-۲-۲-۳ تصفیه سلول‌های سرطانی توسط فیلم‌های ریزمتخلخل
۳۴۰	۹-۲-۲-۴ اندازه‌گیری گسیلنده‌های آلفا در محیط
۳۴۱	۹-۳ نمونه‌های برون‌زمینی
۳۴۱	۹-۳-۱ مطالعه نمونه‌های ماه
۳۴۴	۹-۳-۲ شهاب‌سنگ‌ها
۳۴۶	۹-۴ کاربردهای آموزشی آشکارسازهای ردپا
۳۴۸	۹-۵ زمینه‌های دیگر برای بهبود تکنیک‌های خورش ردپا و کاربردهای آن
۳۵۳	۹-۶ سخن آخر
۳۵۵	مراجع
۳۶۵	پیوست‌ها