



تولید و شکافت هسته‌های سنگین و فوق سنگین

هادی اسلامی زاده



دانشگاه خلیج فارس

وزارت معارف و اوقاف و صنایع مستظرفه



مرکز نشر دانشگاهی

تولید و شکافت هسته‌های سنگین و فوق سنگین

هادی اسلامی زاده

ویراستار: ترانه طاهری
نسخه‌پرداز: لیلا محسنی
حروفچین و صفحه‌آرا: مرضیه دیرپناه، احمد حسن غفاری
طراح جلد: علیرضا دریانی
ناظر چاپ: حمیدرضا دمیرچی
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۹۹
تعداد ۱۰۰
چاپ و صحافی: توس
۳۵۰۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، روبه‌روی سینما سپیده، ساکن: ۶۶۴۱۰۶۸۶، ۶۶۴۰۸۸۹۱، تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۶



17178164631000011

فروش اینترنتی: www.iup.ac.ir

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: اسلامی زاده، هادی، ۱۳۴۶-

عنوان و نام پدیدآور: تولید و شکافت هسته‌های سنگین و فوق سنگین / هادی اسلامی زاده؛ [یرای] دانشگاه خلیج فارس

مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۹.

مشخصات ظاهری: ده، ۲۰۹ ص.

فروست: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۵۶۰. فیزیک؛ ۱۶۹.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۰۱-۱۵۶۰-۲

وضعیت فهرست‌نویسی: قیفا

یادداشت: واژه‌نامه.

یادداشت: کتابنامه.

یادداشت: نمایه.

موضوع: شکافت اتمی

موضوع: Nuclear fission

موضوع: فیزیک هسته‌ای

موضوع: Nuclear physics

شناسه افزوده: مرکز نشر دانشگاهی

شناسه افزوده: Iran University Press

رده‌بندی کنگره: QC ۷۹۰

رده‌بندی دیویی: ۵۳۹/۷۶

شماره کتابشناسی ملی: ۶۱۵۰۲۷۲

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

صفحه

عنوان

نه

پیشگفتار

۱

۱ مروری ا-ج مالی بر برخی از مفاهیم مهم فیزیک هسته‌ای

۱

۱-۱ مقدمه

۱

۲-۱ تقسیم‌بندی اجزای اتم در فیزیک

۳

۳-۱ نیروهای حاکم بر سیع و مایع و ویژگی‌های آنها

۴

۴-۱ برخی از تعاریف و مفاهیم مهم در حوزه اتم‌ها و هسته‌ها

۵

۵-۱ اجزای سازنده اتم‌ها و هسته‌ها و اندازه‌گیری جرم آنها

۶

۶-۱ واحد اندازه‌گیری طول در کارهای هسته‌ای

۶

۷-۱ اندازه هسته

۸

۸-۱ اسپین هسته

۹

۹-۱ پاریتت هسته

۱۰

۱۰-۱ انرژی بستگی هسته

۱۱

۱۱-۱ مدل‌های هسته‌ای

۱۲

۱۱-۱-۱ مدل قطره مایع

۱۴

۱۱-۱-۲ مدل پوسته‌ای

۱۵

۱۲-۱ گشتاورهای الکتریکی و مغناطیسی هسته‌ها

۱۵

۱-۱۲-۱ گشتاور چهارقطبی الکتریکی

۱۸

۲-۱۲-۱ گشتاور دوقطبی مغناطیسی

۲۰

۱۳-۱ فراوانی و پایداری هسته‌ها

۲۱

۱۴-۱ مدهای واپاشی هسته‌های رادیواکتیو (پرتوزا)

۲۱	۱-۱۴-۱ واپاشی آلفا
۲۲	۲-۱۴-۱ واپاشی‌های $\beta^{\pm}$ و گیراندازی الکترون
۲۴	۳-۱۴-۱ شرط واپاشی $\beta^{\pm}$ و گیراندازی الکترون
۲۴	۴-۱۴-۱ واپاشی گاما
۲۵	۱۵-۱ رادیواکتیویته (پرتوزایی) طبیعی
۲۶	۱۶-۱ قانون واپاشی هسته‌های رادیواکتیو
۲۷	۱۷-۱ فعالیت یک نمونه رادیواکتیو
۲۷	۱۸-۱ جیره‌های واپاشی
۲۹	۱۹-۱ واکنش‌های هسته‌ای
۲۹	۲۰-۱ کمیدهای هسته در واکنش‌های هسته‌ای
۳۰	۲۱-۱ طبقه‌بندی واکنش‌ها: هسته‌ای
۳۰	۱-۲۱-۱ واکنش‌های هسته‌ای توأم با تشکیل هسته مرکب
۳۱	۲-۲۱-۱ واکنش‌های مستقیم
۳۱	۳-۲۱-۱ واکنش‌های پیش‌توان
۳۱	۲۲-۱ دستگاه مختصات مناسب برای توصیف واکنش‌های هسته‌ای
۳۵	۲۳-۱ انرژی برانگیختگی هسته مرکب در واکنش‌های همجوشی
۳۶	۲۴-۱ برآورد عمر متوسط هسته مرکب
۳۶	۲۵-۱ گرمای نهان واکنش هسته‌ای
۳۷	۲۶-۱ برآورد مقدار Q در واکنش‌های هسته‌ای برحسب انرژی جنبش محلول سبک
۳۸	۲۷-۱ چگالی تراز هسته‌های برانگیخته
۴۰	۲۸-۱ سطح مقطع‌ها
۴۳	۲۹-۱ سطح مقطع پراکندگی کولنی
۴۴	۳۰-۱ توصیف فرایند پراکندگی برحسب مفاهیم مکانیک کوانتومی
۴۹	۳۱-۱ توصیف فرایند پراکندگی ذرات از هسته‌ها همراه با اثرات جذبی
۵۱	۲ شبیه‌سازی فرایند شکافت هسته‌های برانگیخته در چارچوب مدل‌های گوناگون
۵۱	۱-۲ مقدمه
۵۲	۲-۲ سد شکافت
۵۳	۳-۲ برآورد سد شکافت

۵۴	۴-۲ زمان متوسط واپاشی هسته‌ها و پهنای واپاشی شکافت بور-ویلر
۵۶	۵-۲ سد پتانسیل مؤثر و تأثیر آن در برآورد پهنای شکافت
۵۸	۶-۲ عوامل مؤثر بر سد شکافت هسته‌ها
۶۱	۷-۲ شکافت هسته‌ها از طریق جذب نوترون‌های حرارتی
۶۲	۸-۲ شرط شکافت خودبه‌خودی هسته
۶۳	۹-۲ انواع ویژگی‌های فرایند شکافت هسته‌های برانگیخته
۶۴	۱۰-۲ انرژی جنبشی کل آزاد شده در فرایند شکافت هسته‌ها
۶۵	۱۱-۲ نیم عمر واپاشی شکافت خودبه‌خودی
۶۷	۱۲-۲ توزیع جرم پاره‌های شکافت
۶۹	۱۳-۲ انرژی جنبشی پاره‌های شکافت
۷۱	۱۴-۲ توزیع انرژی نه‌ترونی‌های آبی خروجی در فرایند شکافت هسته
۷۱	۱۵-۲ سرد شدن پاره‌های شکافت در فرایند شکافت القایی
۷۳	۱۶-۲ سطح مقطع شکافت
۷۴	۱۷-۲ انرژی برانگیختگی پاره‌های شکافت
۷۵	۱۸-۲ توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت
۷۶	۱۹-۲ مدل‌های آماری توصیف توزیع انرژی‌ای پاره‌های شکافت
۷۸	۲۰-۲ تأثیر تصحیح پوسته‌ای بر سد شکافت
۷۹	۲۱-۲ روش برآورد تصحیح پوسته‌ای
۷۹	۲۲-۲ روش برآورد سد شکافت دوکوهانه برحسب پارامترهای تجربی سد شکافت
۸۴	۲۳-۲ تأثیر چاه پتانسیل دوم در برآورد زمان شکافت هسته‌های برانگیخته
۸۷	۲۴-۲ ایزومرهای شکلی شکافت
۹۰	۲۵-۲ تأثیر پارامتر شکافت‌پذیری بر شکل سد شکافت دوکوهانه
۹۰	۲۶-۲ شبیه‌سازی تحول هسته‌های برانگیخته در چارچوب مدل‌های دینامیکی و آماری
۹۱	۲۷-۲ مدل‌های دینامیکی
۹۲	۲۸-۲ ضریب اتلاف
۹۴	۲۹-۲ تابع توزیع اسپین هسته مرکب تولید شده حین فرایند همجوشی
۹۶	۳۰-۲ شیوه شبیه‌سازی تحول هسته‌های برانگیخته در چارچوب معادلات لانژون
	۳۱-۲ تعیین مقدار ضریب k_s در مدل اتلاف تک‌ذره، برحسب شبیه‌سازی
۹۸	فرایند شکافت هسته‌ها

۹۸	۱-۳۱-۲ تعیین مقدار ضریب k برای هسته ^{209}Pb
۱۰۰	۲-۳۱-۲ تعیین مقدار ضریب k برای هسته ^{211}Po
۱۰۲	۳-۳۱-۲ تعیین مقدار ضریب k برای هسته ^{213}Fr
	۲-۳۲ تعیین مقدار ضریب اتلاف بعد از نقطه زینی هسته‌های سنگین، برحسب
۱۰۵	شبیه‌سازی فرایند شکافت آنها
۱۰۵	۱-۳۴-۲ تعیین مقدار پارامتر اتلاف بعد از نقطه زینی برای هسته ^{228}U
۱۱۰	۲-۳۲-۱ تعیین مقدار پارامتر اتلاف بعد از نقطه زینی برای هسته ^{228}Cf
۱۱۲	۱-۳۵-۲ مدل دینامیکی در چارچوب معادلات بیتمن
۱۱۶	۱-۳۶-۲ مدل‌های آماری
۱۱۹	۳۵-۲ شبیه‌سازی تحول هسته‌های برانگیخته در چارچوب مدل‌های آماری
۱۲۰	۳۶-۲ روش برآورد سطح معام شکافت هسته‌های تولیدشده در فرایندهای همجوشی
	۳۷-۲ شبیه‌سازی فرایند تحول برخی از هسته‌های برانگیخته در چارچوب
۱۲۰	مدل آماری اصلاح شده
۱۲۰	۱-۳۷-۲ تعیین مقدار پارامترهای λ و λ_s برای هسته ^{216}Ra
۱۲۳	۲-۳۷-۲ تعیین مقدار پارامترهای λ و λ_s برای هسته ^{219}Tl
۱۲۷	۳-۳۷-۲ تعیین مقدار پارامترهای λ و λ_s برای هسته ^{227}Pa
۱۳۰	۴-۳۷-۲ تعیین مقدار پارامترهای λ و λ_s برای هسته ^{168}Yb
۱۳۴	۳۸-۲ مدل ترکیبی دینامیک-آماری
	۳۹-۲ تعیین پارامترهای سد شکافت هسته‌های فرااورانیم در چارچوب مدل
۱۳۵	دینامیک-آماری
۱۳۵	۱-۳۹-۲ تعیین پارامترهای سد شکافت هسته‌های ^{241}Pu ، ^{242}Pu ، ^{243}Pu
۱۳۸	۲-۳۹-۲ تعیین پارامترهای سد شکافت هسته‌های ^{241}Cm ، ^{242}Cm ، ^{243}Cm
۱۴۱	۳-۳۹-۲ تعیین پارامترهای سد شکافت هسته‌های ^{241}Np ، ^{242}Np ، ^{243}Np
۱۴۴	۴-۳۹-۲ تعیین پارامترهای سد شکافت هسته‌های ^{241}Pu ، ^{242}Pu ، ^{243}Pu ، ^{244}Pu
	۴۰-۲ مقایسه نتایج شبیه‌سازی تحول هسته‌های برانگیخته در چارچوب مدل
۱۴۴	ترکیبی دینامیک-آماری و مدل آماری
۱۴۷	۳ تولید هسته‌های سنگین و فوق سنگین
۱۴۷	۱-۳ مقدمه

- ۲-۳ خط پایداری و جزیره پایداری ۱۴۹
- ۳-۳ فنون تجربی تولید هسته‌های سنگین و فوق سنگین ۱۵۱
- ۴-۳ نتایج کارهای تجربی ۱۵۲
- ۵-۳ ویژگی‌ها و واکنش‌های مناسب برای تولید برخی از هسته‌های فوق سنگین و برخی از ایزوتوپ‌های آنها ۱۵۳
- ۱-۵-۳ عنصر نوبلیوم، Nb، با عدد اتمی $Z=102$ ۱۵۳
- ۲-۵-۳ عنصر لورنسیوم، Lr، با عدد اتمی $Z=103$ ۱۵۴
- ۳-۵-۳ عنصر رادرفوردیم، Rf، با عدد اتمی $Z=104$ ۱۵۶
- ۴-۵-۳ عنصر دوبنیم، Db، با عدد اتمی $Z=105$ ۱۵۶
- ۵-۵-۳ عنصر بورگیم، Bg، با عدد اتمی $Z=106$ ۱۵۸
- ۶-۵-۳ عنصر هاسیم، Hs، با عدد اتمی $Z=107$ ۱۵۸
- ۷-۵-۳ عنصر ماسیم، Ms، با عدد اتمی $Z=108$ ۱۵۹
- ۸-۵-۳ عنصر مینترمیوم، Mt، با عدد اتمی $Z=109$ ۱۶۰
- ۹-۵-۳ عنصر دارمشتادیوم، Ds، با عدد اتمی $Z=110$ ۱۶۱
- ۱۰-۵-۳ عنصر رونتگنیم، Rg، با عدد اتمی $Z=111$ ۱۶۱
- ۱۱-۵-۳ عنصر کپرنیسیوم، Cn، با عدد اتمی $Z=112$ ۱۶۲
- ۱۲-۵-۳ عنصر آن‌ان‌تریم، Uut، یا نیهونیم، Nh، با عدد اتمی $Z=113$ ۱۶۲
- ۱۳-۵-۳ عنصر فلروویم، Fl، یا آن‌ان‌کادیم با عدد اتمی $Z=114$ ۱۶۳
- ۱۴-۵-۳ عنصر آن‌ان‌پتیم، Uup، یا موسکوویوم، Mc، با عدد اتمی $Z=115$ ۱۶۳
- ۱۵-۵-۳ عنصر لیورموریم، Lv، یا آن‌ان‌هگزیم، Uuh، با عدد اتمی $Z=116$ ۱۶۴
- ۱۶-۵-۳ عنصر آن‌ان‌سپتیم، Uus، یا تنسین، Ts، با عدد اتمی $Z=117$ ۱۶۴
- ۱۷-۵-۳ عنصر آن‌ان‌اکسیم، Uuo، یا اوگانسون، Og، با عدد اتمی $Z=118$ ۱۶۵
- ۶-۳ تقسیم‌بندی واکنش‌های هسته‌ای براساس پارامتر برخورد ۱۶۵
- ۷-۳ سازوکار تجمع نوکلئون‌ها در هسته مرکب، طی فرایند همجوشی هسته‌ها ۱۶۶
- ۸-۳ سد همجوشی ۱۶۸
- ۹-۳ توصیف برهم‌کنش میان هسته‌های تغییرشکل یافته طی فرایند همجوشی هسته‌ها ۱۶۸
- ۱۰-۳ برآورد سد مقابل همجوشی یون‌های ^{48}Ca با هسته‌های ^{239}Pu ، ^{240}Pu ، ^{241}Pu ، ^{242}Pu ۱۷۱

پیشگفتار

کتاب «تولید و شکافت هسته‌های سنگین و فوق‌سنگین» متناسب با نیازهای امروزی دانش کشور در زمینه فیزیک هسته‌ای تدوین شده است تا اطلاعات مفیدی را در زمینه شکافت و تولید هسته‌های سنگین و فوق‌سنگین در اختیار خوانندگان بگذارد. در نوشتن این کتاب تلاش شده است تا مطالب به روشنی شرح داده شوند. این کتاب دو هدف اصلی را دنبال می‌کند؛ مطالعه دقیق فرآیند شکافت هسته‌ها و ویژگی‌های گوناگون آنها، و بررسی امکان تولید هسته‌های سنگین و فوق‌سنگین.

مخاطبان این کتاب را دانشجویان رشته فیزیک و مهندسی هسته‌ای در مقطع کارشناسی و به‌ویژه دانشجویان تحصیلات تکمیلی این رشته‌ها تشکیل می‌دهند. مطالب کتاب در سه فصل گنجانده شده است. فصل اول، مروری اجمالی مفاهیم مهم فیزیک هسته‌ای می‌پردازد؛ فصل دوم شامل توصیف فرایند شکافت هسته‌ها و بررسی ویژگی‌های مختلف آنها و امکان شبیه‌سازی دینامیک شکافت هسته‌های برانگیخته در چارچوب معادلات مختلف است؛ و فصل سوم به بررسی امکان تولید هسته‌های سنگین و فوق‌سنگین و ارائه اطلاعات در زمینه هسته‌های فوق‌سنگین تولید شده می‌پردازد.

خداوند متعال را سپاس می‌گوییم که توفیق تصنیف این کتاب را به اینجانب عطا فرمود. این کتاب را که حاصل سال‌ها تدریس و پژوهش است به دانشجویان عزیز و جویندگان دانش تقدیم می‌کنم. امیدوارم که این کتاب به پیشرفت فیزیک هسته‌ای در ایران کمک کند.

در پایان لازم می‌دانم از استاد ارجمند جناب آقای دکتر لامعی رشتی تشکر و قدردانی کنم که کارهای علمی و اخلاق متعالی ایشان بر کسی پوشیده نیست. ارائه دیدگاه‌های علمی سازنده ایشان در ارتقای سطح کیفی این کتاب تأثیر زیادی داشت. سلامت، بهروزی و توفیق روز افزون این استاد ارجمند را از درگاه خداوند تبارک و تعالی خواستارم. همچنین از همکاران محترم آقایان دکتر قربان‌علی باقری بردی، دکتر حسین رعنائی، دکتر مهدی سلطانی، دکتر مهرداد کاروان، دکتر مهدی نصری نصرآبادی و جناب آقای علی نکبسا که اینجانب را در ارائه این اثر صمیمانه یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. سرکار خانم ترانه طاهری که زحمت ویرایش و سرکار خانم لیلا محسنی که نسخه نهایی کتاب را بر عهده گرفتند و همچنین از همکاری مسئولان تک‌تک کارکنان بخش‌های حروف پینی، صفحه‌آرایی، گرافیک و چاپ مرکز نشر دانشگاهی تشکر و قدردانی می‌کنم.

هادی اسلامی‌زاده

بهار ۱۳۹۹