

شیمی لانتانیدها و اکتینیدها

تألیف

مایون کاتن

ترجمه

سیمین دخت شیروانی آملی

سید جواد احمدی

قاسم شاهمرادی

شیدا انصار

S. Cotton, کانن، سایمون ۱۹۴۶م.

سیمین دخت شیروانی آرانی، سیدجواد احمدی، قاسم شاهمرادی، شیدا انصار

شیمی لاتانیدها و اکتینیدها

ترجمه: سیمین دخت شیروانی آرانی، سیدجواد احمدی، قاسم شاهمرادی، شیدا انصار

تهران: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۳۹۸.

۴۴۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.

ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۱۴-۳۴-۷

فهرست نویسی، اسامی، اطلاعات فیا

۱. فلزهای کمیاب، اکتینیدها

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۸ ۲-۸ / QD1۷۲

رده‌بندی دیویی: ۵۱ / ۴۱

شماره‌ی کتابشناسی ملی: ۵۱۷۰۶۱

نام کتاب: شیمی لاتانیدها و اکتینیدها

ترجمه: سیمین دخت شیروانی آرانی، سیدجواد احمدی، قاسم شاهمرادی، شیدا انصار

ویراستار علمی: محمود فیروززارع

ناظر علمی و فنی: سیدابوالفضل قاسمی

ویراستار ادبی و فنی: مهدیه‌السادات عامل ابراهیمی

ویرایش صفحه‌بندی و تنظیم جلد: شادی معماری آذر

حروف‌چینی: پروانه الهی

تیراژ: ۱۰۰ جلد

چاپ: ۱۳۹۸

نوبت چاپ: اول

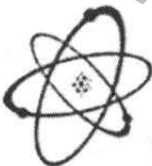
قیمت: ۴۵۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: چاپخانه دیجیتال آبنوس، t_g_abnous@yahoo.com

ناشر: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، nstp@aeoi.org.ir

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۱۴-۳۴-۷

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



انشارات پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

دیباچه

هدف از تألیف این کتاب فراهم آوردن مقدمه‌ای کامل بر شیمی لانتانیدها، اکتینیدها و عناصر سنگین‌تر از اکتینیدها برای دانشجویان دوره‌ی کارشناسی است. همچنین امید است این کتاب برای اساتید این واحدهای درسی نیز مفید باشد. ضمن این‌که کتاب حاضر شباهتی به یک رساله‌ی تخصصی جامع ندارد، تلاش می‌کند تا برای عملی در این زمینه آرایه کند و خواننده می‌تواند برای مطالعات بیش‌تر از فهرست کتاب‌های موجود [در انتهای کتاب] استفاده کند.

از آنجایی‌که کتاب دیگری در همین زمینه (۱۹۱) توسط اینجانب نوشته شد، ممکن است خواننده بیندیشد که چرا من مجدداً زحمتی دوباره را بر این زمینه متحمل شده‌ام. دنیای شیمی بلوک f پیشرفت کرده است. این زمینه از علم یکی از فعال‌ترین و مهم‌ترین زمینه‌های تحقیق بوده که با نام‌هایی چون بونزلی، افیریتخین، لاپرت، مارکس و پرکر (متوجه نام‌های از قلم افتاده نیز هستم) که در سراسر جهان شناخته شده‌اند، همراه بوده است به تنها چندین عنصر بیش‌تر سنتز شده‌اند (و ادعاهایی مبنی بر سنتز دیگر عناصر نیز موجود است) بلکه لانتانیدها و ترکیبات‌شان معمولاً در بسیاری از زمینه‌های شیمی آلی سنتزی به کار گرفته شده‌اند، ترکیبات گادولینیم در اسکن‌های MRI معمولاً کاربرد دارند. همچنین کاربردهای طیف‌بینی دیگری به ویژه در لومینسانس نیز وجود دارد. در حالی‌که برخی از بخش‌ها حداقل در این سطح تغییرات بسیار کمی داده شده‌اند (برای مثال طیف‌بینی و مغناطیس اکتینیدها)، تعداد بسیار بیش‌تری از

ترکیبات توضیح داده شده‌اند که به همین دلیل مثال‌های متعدد، فصل‌های مربوط به کئوردیناسیون و شیمی آلی فلزی طولانی شده‌اند. در این کتاب تلاش کرده‌ام انرژی‌های شیمی لانتانیدها را با جزییات بیش‌تری توضیح دهم، در ضمن این‌که برخی از پرسش‌های انتهای فصل‌ها با درجه‌ی دشواری‌های مختلف ممکن است برای مدرسین مفید واقع شود. من پاسخ اغلب سؤالات را در پایان آورده‌ام (البته این پاسخ‌ها همیشه قطعی و تعیین‌کننده نیستند). مفتخرم، از آنجا که تمام کسانی که در تهیه‌ی این کتاب شرکت داشته‌اند تشکر کنم: پروفیسور درک وولینس^۱ برای دلگرمی‌های فراوان‌شان در مراحل مختلف، پروفیسور جیمز اندرسون^۲ برای نظرات ارزشمندشان در مورد فصل ۸، مارتین بری^۳ که نظرات ارزشمندی را در مورد نسخه‌های اولیه چمدین^۴ تسلل ارائه کردند، پروفیسور میشل افریتیکهین^۵، آلن وایت^۶ و جک هرویلد^۷ و دکتر جی. ای. ویلیامز^۸ و بسیاری از افراد دیگر برای ارسال پست‌های الکترونیک، مراسلات و نظرات. از دکتر مرل. پی. نئو^۸ برای اطلاعات فراوانی که در مورد پلوتونیم در اختیار گذاشتند سپاسگزارم. بی‌شک، بارن کمک کارکنان کتابخانه‌های دیپارتمان شیمی دانشگاه کمبریج و انجمن سلطنتی شیمی را همچنین کتابخانه بریتانیا، امکان دسترسی به نسخه‌های اولیه و اصلی وجود نداشت.

-
1. Derek Woollins
 2. James Anderson
 3. Martyn Berry
 4. Michel Ephritikhine
 5. Allan White
 6. Jack Harrowfield
 7. J.A.G. Williams
 8. Mary P. Neu

همچنین در این جا سپاس‌گزاری خود را از تعدادی از دوستانم اعلام می‌دارم؛ بار دیگر دکتر آلن هارت، که مرا برای اولین بار به لانتانیدها علاقمند ساخت؛ (مجدداً) پروفیسور جیمز اندرسون، دکتر اندرو پلات، دکتر جان فاوست و پروفیسور پل رزبی، بابت همکاری مداوم‌شان در تحقیقات و تهیه طیف‌ها و ساختارها از بلورهای که امیدی بر استخراج اطلاعات از آنها نمی‌رفت که در نتیجه آن، من ارتباط خود را با این زمینه حفظ کردم. در طول ۸ سال آخر، تعدادی از دانشجویان شهر آیینگهام ششم، در تلاش‌های من در زمینه کثوردیناسیون شیمی لانتانیدها سهی داشتند. جان بوار، الور نوی، ریچل فیشر، الکس تایت و جوانا هریس که از آنها نهایت تشکر را دارم. در نهایت بیش از همه از انجمن دام پل امانوئل کلنته و بندیکتین، صومعه وین، به خاطر حمایت‌های مداوم‌شان در طول مدت‌زمانی که مشغول تألیف این کتاب بودم سپاسگزارم.

سایمون کاتن

فهرست

فصل اول

- ۱ مقدمه‌ای بر لانتانیدها
- ۱-۱ مقدمه
- ۳ ۲-۱ مشخصات لانتانیدها
- ۴ ۳-۱ ظهور و فراوانی لانتانیدها
- ۵ ۴-۱ سنگ معدن لانتانید
- ۶ ۵-۱ استخراج و جداسازی لانتانیدها
- ۶ ۱-۵-۱ استخراج
- ۷ ۲-۵-۱ جداسازی لانتانیدها
- ۱۲ ۶-۱ جایگاه لانتانیدها در جدول تناوبی
- ۱۳ ۷-۱ انقباض لانتانیدی

فصل دوم

- ۱۵ لانتانیدها، قوانین و خواص مربوط به انرژی
- ۱۶ ۱-۲ آرایش الکترونی اوربیتال‌ها و اوربیتال‌های f
- ۱۷ ۲-۲ اوربیتال‌های f چه شکلی هستند؟
- ۱۸ ۳-۲ چگونه اوربیتال‌های f خصوصیات لانتانیدها را تحت تأثیر قرار می‌دهند؟
- ۱۹ ۴-۲ انقباض لانتانیدی
- ۲۰ ۵-۲ آرایش الکترونی لانتانیدها و یون‌های متداول آنها
- ۲۰ ۶-۲ الگوهای انرژی یونش
- ۲۲ ۷-۲ شعاع اتمی و یونی
- ۲۴ ۸-۲ الگوهای انرژی‌های آبپوشی (انتالپی) برای یون‌های لانتانیدی

۲۴	۹-۲ تغییرات انتالپی تشکیل ترکیبات ساده‌ی لانتانیدی
۲۴	۱-۹-۲ پایداری تتراهالیدها
۲۸	۲-۹-۲ پایداری دی‌هالیدها
۳۰	۳-۹-۲ پایداری یون‌های آبی
۳۲	۱۰-۲ الگوهای پتانسیل‌های اکسایش کاهش

فصل سوم

۳۷	عناصر لانتانیدی ترکیبات دوتایی ساده
۳۷	۱-۳ مقدمه
۳۸	۲-۳ عناصر
۳۸	۱-۲-۳ خصوصیات
۴۰	۲-۲-۳ سنتز
۴۰	۳-۲-۳ آلیاژها و کاربردهای فلزات
۴۱	۳-۳ ترکیبات دوتایی
۴۱	۱-۳-۳ تری‌هالیدها
۴۴	۲-۳-۳ تتراهالیدها
۴۵	۳-۳-۳ دی‌هالیدها
۴۷	۴-۳-۳ اکسیدها
۵۰	۴-۳ بوریدها
۵۱	۵-۳ کاربیدها
۵۱	۶-۳ نیتريد‌ها
۵۱	۷-۳ هیدریدها
۵۲	۸-۳ سولفیدها

فصل چهارم

۵۷	شیمی کثوردیناسیون لانتانیدها
۵۸	۱-۴ مقدمه

- ۲-۴ پایداري کمپلکس ها ۵۸
- ۳-۴ کمپلکس ها ۶۰
- ۱-۳-۴ یون های آبی ۶۰
- ۲-۳-۴ نمک های آبدار ۶۱
- ۳-۳-۴ سایر لیگاندهای حاوی اتم الکترون دهنده O ۶۳
- ۴-۳-۴ کمپلکس های β -دی کتونات ۶۵
- ۵-۳-۴ حصصات افزایشی حاصل از برهم کنش کمپلکس های β -دی کتونات با بازهای لوئیس ۶۷
- ۶-۳-۴ کمپلکس های نیرات ۶۸
- ۷-۳-۴ کمپلکس های اتمی ناحیه شکل ۶۹
- ۸-۳-۴ کمپلکس های E, TA ر لیگاندهای مربوطه ۷۰
- ۹-۳-۴ کمپلکس با لیگاندهای حاوی اتم الکترون دهنده N ۷۲
- ۱۰-۳-۴ کمپلکس های پورفیرین و سیستم های مربوطه ۷۵
- ۱۱-۳-۴ کمپلکس های هالید ۷۶
- ۱۲-۳-۴ کمپلکس با لیگاندهای حاوی اتم الکترون دهنده S ۷۷
- ۴-۴ آلکوکسیدها، آلکیل آمیدها و مواد مربوطه ۷۸
- ۱-۴-۴ آلکیل آمیدها ۷۸
- ۲-۴-۴ آلکوکسیدها ۸۱
- ۳-۴-۴ تیولات ها ۸۴
- ۵-۴ اعداد کنوردیناسیون در کمپلکس های لانتانید ۸۵
- ۱-۵-۴ اصول کلی ۸۵
- ۲-۵-۴ مثال هایی از اعداد کنوردیناسیون ۸۶
- ۳-۵-۴ انقباض لانتانیدی و اعداد کنوردیناسیون ۹۰
- ۴-۵-۴ فرمول ها و اعداد کنوردیناسیون ۹۱
- ۶-۴ شیمی کنوردیناسیون حالات اکسایش $+۲$ و $+۴$ ۹۲
- ۱-۶-۴ حالت $(+۲)$ ۹۲
- ۲-۶-۴ حالت $(+۴)$ ۹۴

فصل پنجم

۱۰۳.....	خصوصیات مغناطیسی و الکترونی لانتانیدها
۱۰۴.....	۱-۵ خصوصیات مغناطیسی و طیف‌بینی یون‌های Ln^{3+}
۱۰۶.....	۲-۵ خصوصیات مغناطیسی یون‌های Ln^{3+}
۱۰۹.....	۱-۲-۵ مغناطیس‌زدایی آدیاباتیک
۱۱۱.....	۳-۵ نمودارهای سطح انرژی یون‌های لانتانید و طیف‌های الکترونی آنها
۱۱۱.....	۱-۳-۵ طیف الکترونی
۱۱۵.....	۲-۳-۵ انتقال‌های بسیار حساس
۱۱۷.....	۴-۵ طیف‌های لومینسانس
۱۲۴.....	۱-۴-۵ خاموش شدن
۱۲۵.....	۲-۴-۵ اثرات آنتن
۱۲۶.....	۳-۴-۵ کاربرد لومینسانس در کاوشگرهای حسی
۱۲۹.....	۴-۴-۵ فلورسانس و تلویزیون
۱۳۰.....	۵-۴-۵ کاربردهای روش‌های
۱۳۱.....	۶-۴-۵ لیزرها
۱۳۲.....	۷-۴-۵ اسکناس‌های یورو
۱۳۳.....	۵-۵ کاربردها در NMR
۱۳۳.....	۱-۵-۵ β -دی کتون‌ها به شکل عامل شیمیایی جابه‌جایی یک $N, 1k$
۱۳۵.....	۲-۵-۵ تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)
۱۳۶.....	۳-۵-۵ خصوصیات یک معرف MRI خوب چه هستند؟
۱۴۱.....	۴-۵-۵ نگزافرین‌ها
۱۴۲.....	۶-۵ طیف‌سجی رزونانسی پارامغناطیسی الکترون
۱۴۳.....	۷-۵ لانتانیدها به عنوان کاوشگر در سیستم‌های بیولوژیکی

فصل ششم

۱۴۹.....	شیمی آلی فلزی لانتانیدها
۱۵۰.....	۱-۶ مقدمه

۱۵۰.....	۲-۶ حالت اکسایش +۳.....
۱۵۰.....	۱-۲-۶ آلکیل ها.....
۱۵۲.....	۲-۲-۶ آریل ها.....
۱۵۳.....	۳-۶ سیکلو پنتا دی انیل ها.....
۱۵۳.....	۱-۳-۶ ترکیبات بدون استخلاف لیگاند سیکلو پنتا دی انیل ($C_5Me_5 = Cp^*$, $C_5H_5 = Cp$).....
۱۵۹.....	۲-۳-۶ ترکیبات $[LnCp^*] Cp^*$ پنتا متیل سیکلو پنتا دی انیل.....
۱۶۱.....	۳-۳-۶ آلکیل های بیس (سیکلو پنتا دی انیل) و آریل های $LnCp, R$
۱۶۲.....	۴-۳-۶ آلکیل های بیس پنتا متیل سیکلو پنتا دی انیل.....
۱۶۶.....	۵-۳-۶ کمپلکس های هالید ها.....
۱۶۷.....	۴-۶ کمپلکس های دی آرین سیکلو اکتادین.....
۱۶۹.....	۵-۶ حالت اکسایش +۲.....
۱۶۹.....	۱-۵-۶ آلکیل ها و آریل ها.....
۱۷۰.....	۲-۵-۶ سیکلو پنتا دی انیل ها.....
۱۷۲.....	۳-۵-۶ ترکیبات دیگر.....
۱۷۲.....	۶-۶ حالت اکسایش +۴.....
۱۷۳.....	۷-۶ کمپلکس های فلز - آرین.....
۱۷۵.....	۸-۶ کربونیل ها.....

فصل هفتم

۱۸۱.....	استثنائات: اسکاندیم، ایتریم و پرومیتیم.....
۱۸۱.....	۱-۷ مقدمه.....
۱۸۲.....	۲-۷ اسکاندیم.....
۱۸۳.....	۱-۲-۷ ترکیبات دوتایی اسکاندیم.....
۱۸۴.....	۳-۷ ترکیبات کنوردیناسیونی اسکاندیم.....
۱۸۴.....	۱-۳-۷ یون آبی و نمک های آب دار.....
۱۸۵.....	۲-۳-۷ کمپلکس های دیگر.....

۱۸۹.....	۳-۳-۷ آلکو کسیدها و آلکیل آمیدها
۱۹۱.....	۴-۳-۷ الگوهای عدد کتوردیناسیون
۱۹۲.....	۴-۷ ترکیبات آلی فلزی اسکاندیم
۱۹۳.....	۵-۷ ایتريم
۱۹۵.....	۶-۷ پرومیتیم

فصل هشتم

۲۰۱.....	لانتانیدها اسکاندیم در شیمی آلی
۲۰۱.....	۱-۸ مقدمه
۲۰۲.....	۲-۸ ترکیبات سریم (IV)
۲۰۲.....	۱-۲-۸ اکسایش ترکیبات آماریک
۲۰۴.....	۲-۲-۸ اکسایش آلکن ها
۲۰۵.....	۳-۲-۸ اکسایش الکل ها
۲۰۶.....	۳-۸ یدید ساماریم $Sml_2 (II)$
۲۰۷.....	۱-۳-۸ کاهش ترکیبات هالوژنی
۲۰۷.....	۲-۳-۸ کاهش کتون های هترواتم دار شده در موقعیت α
۲۰۷.....	۳-۳-۸ کاهش گروه های کربونیل
۲۱۰.....	۴-۳-۸ واکنش های باربیر
۲۱۱.....	۵-۳-۸ واکنش های رفرماتسکی
۲۱۲.....	۴-۸ β - دی کتون های لانتانیدی به عنوان کاتالیزورهای دیلز - آلدلر
۲۱۳.....	۱-۴-۸ واکنش های هترو دیلز آلدلر
۲۱۳.....	۵-۸ کلرید سریم (III) و ترکیبات آلی سریم
۲۱۷.....	۶-۸ کلرید سریم (III) و هیدریدهای فلزی
۲۱۹.....	۷-۸ تری فلات اسکاندیم و تری فلات های لانتانیدها
۲۱۹.....	۱-۷-۸ واکنش های فریدل - کرافت
۲۲۱.....	۲-۷-۸ واکنش های دیلز - آلدلر

۲۲۲.....	۳-۷-۸ واکنش های ماننخ
۲۲۳.....	۴-۷-۸ واکنش های ایمینو - دیلز - آلدو
۲۲۵.....	۸-۸ آلکوکسیدها و آریل اکسیدها
۲۲۶.....	۹-۸ فلزات لانتانیدی
۲۲۸.....	۱۰-۸ ترکیبات آلی - فلزی و کاتالیز کردن

فصل نهم

۲۳۹.....	معرفی اکتینیدها
۲۳۹.....	۱-۹ معرفی و ظهور اکتینیدها
۲۴۰.....	۲-۹ ستر
۲۴۳.....	۳-۹ استخراج Pa, Th و U
۲۴۳.....	۱-۳-۹ استخراج توریم
۲۴۴.....	۲-۳-۹ استخراج پروتاکتینیم
۲۴۴.....	۳-۳-۹ استخراج و خالص سازی اورانیم
۲۴۴.....	۴-۹ تفکیک ایزوتوپی اورانیم
۲۴۵.....	۱-۴-۹ نفوذ گازی
۲۴۵.....	۲-۴-۹ سانتریفیوژ گازی
۲۴۵.....	۳-۴-۹ جداسازی الکترومغناطیسی
۲۴۶.....	۴-۴-۹ جداسازی لیزری
۲۴۶.....	۵-۹ ویژگی های اکتینیدها
۲۴۹.....	۶-۹ پتانسیل کاهشی اکتینیدها
۲۵۱.....	۷-۹ اثرات نسبیتی

فصل دهم

۲۵۳.....	ترکیبات دوتایی اکتینیدها
۲۵۴.....	۱-۱۰ مقدمه
۲۵۵.....	۲-۱۰ هالیدها

۲۵۷	۱-۲-۱۰ سستز هالیدها
۲۶۰	۲-۲-۱۰ انواع ساختار
۲۶۲	۳-۱۰ توریم هالیدها
۲۶۳	۴-۱۰ اورانیم هالیدها
۲۶۵	۱-۴-۱۰ ترکیبات اورانیم (VI)
۲۶۵	۲-۴-۱۰ ترکیبات اورانیم (IV)
۲۶۶	۳-۴-۱۰ ترکیبات اورانیم (IV)
۲۶۷	۴-۴-۱۰ ترکیبات اورانیم (III)
۲۶۹	۵-۴-۱۰ اورانیم هگزا فلوروید و جداسازی ایزوتوپی
۲۷۱	۵-۱۰ اکتینید هالیدها (Ac-Ac) بجز اورانیم و توریم (U و Th)
۲۷۱	۱-۵-۱۰ اکتینیم
۲۷۲	۲-۵-۱۰ پروتاکتینیم
۲۷۳	۳-۵-۱۰ نپتونیم
۲۷۴	۴-۵-۱۰ پلوتونیم
۲۷۵	۵-۵-۱۰ آمرسیم
۲۷۶	۶-۱۰ هالیدهای عناصر فرا اکتینیدی سنگین تر
۲۷۶	۱-۶-۱۰ کلرید کوریم (III)
۲۷۷	۲-۶-۱۰ کلرید کالیفرنیم (III)، بدید کالیفرنیم (III) و بدید کالیفرنیم (II)
۲۷۸	۳-۶-۱۰ کلرید انشتاینیم (III)
۲۷۹	۷-۱۰ اکسیدها
۲۷۹	۱-۷-۱۰ اکسید توریم
۲۸۰	۲-۷-۱۰ اکسیدهای اورانیم
۲۸۰	۸-۱۰ اورانیم هیدرید UH_3
۲۸۱	۹-۱۰ اکسی هالیدها

فصل یازدهم

۲۸۷.....	شیمی کئوردیناسیون اکتینیدها
۲۸۸.....	۱-۱۱ مقدمه
۲۸۸.....	۲-۱۱ الگوهای عمومی در شیمی کئوردیناسیون اکتینیدها
۲۸۹.....	۳-۱۱ اعداد کئوردیناسیون در کمپلکس های اکتینیدها
۲۹۰.....	۴-۱۱ نوع کمپلکس های تشکیل شده
۲۹۱.....	۵-۱۱ شیمی اورانیم و توریم
۲۹۱.....	۱-۵-۱۱ کمپلکس های اورانیل
۲۹۵.....	۲-۵-۱۱ اعداد کئوردیناسیون و اختار هندسی در کمپلکس های اورانیل
۲۹۶.....	۳-۵-۱۱ بعضی دیگر از کمپلکس ها
۲۹۸.....	۴-۵-۱۱ نیترات اورانیل و کمپلکس های نیترات آن ها در فرآوری پسماند هسته ای
۲۹۹.....	۵-۵-۱۱ فرآوری پسماند هسته ای
۳۰۰.....	۶-۱۱ کمپلکس های نیترات و هالید اکتینید (IV)
۳۰۰.....	۱-۶-۱۱ کمپلکس های نیترات توریم
۳۰۲.....	۲-۶-۱۱ کمپلکس های نیترات اورانیم (IV)
۳۰۲.....	۳-۶-۱۱ کمپلکس های اکتینید هالیدها (IV)
۳۰۶.....	۷-۱۱ تیوسیانات ها
۳۰۶.....	۸-۱۱ آمیدها، آلکوکسیدها و تیولات ها
۳۰۷.....	۱-۸-۱۱ شیمی آمیدها
۳۰۹.....	۲-۸-۱۱ آلکوکسیدها و آریل آکسیدها
۳۱۱.....	۹-۱۱ شیمی اکتینیم
۳۱۲.....	۱۰-۱۱ شیمی پروتاکتینیم
۳۱۴.....	۱۱-۱۱ شیمی نپتونیم
۳۱۵.....	۱-۱۱-۱۱ کمپلکس های نپتونیم
۳۱۷.....	۱۲-۱۱ شیمی پلوتونیم
۳۱۷.....	۱-۱۲-۱۱ شیمی آبی

۳۱۸.....	۲-۱۲-۱۱ پایداری حالت‌های اکسایش پلوتونیم
۳۲۱.....	۳-۱۲-۱۱ شیمی کنوردیناسیون پلوتونیم
۳۲۵.....	۴-۱۲-۱۱ پلوتونیم در محیط
۳۲۷.....	۱۳-۱۱ شیمی امرسیم و اکتینیدهای بعدی
۳۲۸.....	۱-۱۳-۱۱ پتانسیل‌ها
۳۳۰.....	۱۴-۱۱ شیمی اکتینیدهای انتهایی

فصل دوازدهم

۳۳۷.....	خصوصیات الکترونی و مغناطیس اکتینیدها
۳۳۷.....	۱-۱۲ مقدمه
۳۳۹.....	۲-۱۲ طیف‌های جذبی
۳۳۹.....	۱-۲-۱۲ اورانیم (VI) (VI) ^{238}U
۳۴۰.....	۲-۲-۱۲ اورانیم (V) f^3
۳۴۱.....	۳-۲-۱۲ اورانیم (IV) f^4
۳۴۵.....	۴-۲-۱۲ طیف‌های عناصر اکتینید انتهایی
۳۴۷.....	۳-۱۲ خصوصیات مغناطیسی

فصل سیزدهم

۳۵۱.....	شیمی آلی فلزی اکتینیدها
۳۵۲.....	۱-۱۳ مقدمه
۳۵۲.....	۲-۱۳ ترکیبات آلی - فلزی با پیوند ساده σ
۳۵۴.....	۳-۱۳ سیکلوپنتادی‌انیل
۳۵۵.....	۱-۳-۱۳ حالت اکسایش (VI)
۳۵۶.....	۲-۳-۱۳ حالت اکسایش (V)
۳۵۶.....	۳-۳-۱۳ حالت اکسایش (IV)
۳۶۰.....	۴-۳-۱۳ حالت اکسایش (III)

۳۶۲.....	۴-۱۳ ترکیبات لیگاند پنتا متیل سیکلوپنتادی انیل $C_5Me_5 = Cp^+$
۳۶۲.....	۴-۱۳ حالت اکسایش (IV)
۳۶۴.....	۴-۱۳ گونه‌های کاتیونی و کاتالیزور
۳۶۶.....	۴-۱۳ هیدریدها
۳۶۷.....	۴-۱۳ حالت اکسایش (III)
۳۶۸.....	۵-۱۳ سیستم‌های ترنس (پنتا متیل سیکلوپنتادی انیل)
۳۶۹.....	۶-۱۳ سایر ترکیبات حلقوی فلزی
۳۷۰.....	۷-۱۳ ترکیبات بی آنی سیکلوکتاترا این
۳۷۳.....	۸-۱۳ کمپلکس‌های آرین
۳۷۴.....	۹-۱۳ کربونیل‌ها

فصل چهاردهم

۳۷۹.....	ستیز عناصر فرااکتینیدی و شیمی آن‌ها
۳۷۹.....	۱-۱۴ مقدمه
۳۸۱.....	۲-۱۴ یافتن عناصر جدید
۳۸۲.....	۳-۱۴ ستیز عناصر فرااکتینید
۳۸۶.....	۴-۱۴ نام‌گذاری عناصر فرااکتینیدی
۳۸۷.....	۵-۱۴ پیش‌بینی ترتیب الکترونی
۳۸۸.....	۶-۱۴ شناسایی عناصر
۳۹۴.....	۷-۱۴ پیش‌بینی شیمی فرااکتینیدی
۳۹۵.....	۸-۱۴ آنچه که در مورد شیمی فرااکتینیدها شناخته شده است
۳۹۵.....	۱-۸-۱۴ عنصر ۱۰۴
۳۹۵.....	۲-۸-۱۴ عنصر ۱۰۵
۳۹۶.....	۳-۸-۱۴ عنصر ۱۰۶
۳۹۶.....	۴-۸-۱۴ عنصر ۱۰۷
۳۹۷.....	۵-۸-۱۴ عنصر ۱۰۸
۳۹۷.....	۹-۱۴ آینده