



شیمی تجزیه (۲)

(رشته شیمی محض و کاربردی)

دکتر محمود پایه قدر

سازمان	: پایه قدر، محمود، ۱۳۳۹ -
عنوان و نام پدید آور	: شیمی تجزیه (۲)، رشته شیمی محض و کاربردی / تألیف محمود پایه قدر، ویراستار علمی عزیزاله نژادعلی؛ تهیه و تولید دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی. تهران: دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۷.
مشخصات نشر	: چهارده، ۳۳۳ ص.
مشخصات ظاهری	: دانشگاه پیام نور؛ ۲۴۶۹. گروه شیمی؛ ۱/۱۴۱.
فروست	: 978 - 964 - 14 - 0516 - 0
شابک	: وضعیت فهرست نویسی : فیا.
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: شیمی تجزیه -- آموزش برنامه ای
موضوع	: Chemistry, Analytic -- Programmed instruction
موضوع	: شیمی تجزیه - آزمون ها و تمرین ها (عالی)
موضوع	: Chemistry, Analytic -- Examinations, questions, etc (Higher)
شناسه افزوده	: نژادعلی، عزیزاله، ۱۳۴۴ - ویراستار
شناسه افزوده	: دانشگاه پیام نور، دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی
شناسه افزوده	: انتشار پیام نور
شناسه افزوده	: Payam Noor University
رده بندی کنگره	: QD۷۵/۷۰۰۳:۱۳۹۷
رده بندی دیویی	: ۵۴۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۲۶۱۴۱۸



دانشگاه پیام نور

مرداد ۱۳۹۸

شیمی تجزیه (۲)

جلد ۳۰۰

مؤلف: دکتر محمود پایه قدر

قیمت: ۳۶۰,۰۰۰ ریال

ویراستار علمی: دکتر عزیزاله نژادعلی

تهیه و تولید: دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور

شابک: ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۱۴ - ۰۵۱۶ - ۰

ISBN: 978 - 964 - 14 - 0516 - 0

فروش این کتاب فقط از طریق نمایندگی های دانشگاه پیام نور مجاز می باشد و فروش

آن در سایر مراکز فروش کتاب موجب تعقیب قانونی فروشنده خواهد گردید

(کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ و متعلق به دانشگاه پیام نور است. تولید، کپی یا خلاصه برداری، نشر و ترجمه، چاپ، افست، توزیع گسترده، تهیه CD و ... این اثر یا بخشی از آن اعم از متن، طرح پشت و روی جلد و ... بدون اخذ مجوز کتبی از معاونت فناوری و پژوهش دانشگاه خلاف مقررات و تعرض به حقوق مادی و معنوی دانشگاه است. متخلفین وفق قانون حمایت از مولفان و مصنفان و هنرمندان دارای مسئولیت حقوقی و کیفری بوده و تحت پیگرد قرار می گیرند.)

آدرس فروشگاه مرکزی چاپ و انتشارات دانشگاه پیام نور: تهران، خیابان شهید رجایی،

نرسیده به تقاطع آزادگان، جنب ورزشگاه یادآوران، تلفن: ۵۵۵۰۲۱۰۴ - ۵۵۵۰۹۸۲۸

سایت فروش اینترنتی: <http://digibook.pnu.ac.ir>

فهرست مطالب

پیشگفتار	سیزده
فصل اول. کلیات الکترونیسم	۱
هدف‌های کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۱
۱-۱ الکترو تجزیه	۲
۲-۱ مفاهیم بنیادی و اصطلاحات	۳
۱-۲-۱ زوج ردوکس	۳
۲-۲-۱ الکتروود	۵
۳-۲-۱ پتانسیل الکتروود	۶
۴-۲-۱ سلول الکتروشیمیایی	۷
۵-۲-۱ پتانسیل سلول (سلول F)	۱۲
۶-۲-۱ پتانسیل استاندارد الکتروود	۱۲
۷-۲-۱ پتانسیل فرمال الکتروود	۱۵
۸-۲-۱ جریان الکتریکی	۱۷
۹-۲-۱ بار الکتریکی	۱۷
۳-۱ تغییرات نیروی الکتروموتوری با فعالیت اجزای محلول	۱۸
۴-۱ دسته‌بندی الکتروودها	۲۰
۱-۴-۱ الکتروودهای فلز - یون فلز	۲۱
۲-۴-۱ الکتروودهای گازی	۲۳
۱-۲-۴-۱ الکتروود استاندارد هیدروژن (SHE)	۲۳
۳-۴-۱ الکتروود ملغمه	۲۵

۲۶	۴-۴-۱ الکترودهای آنیونی
۲۶	۱-۴-۴-۱ الکتروکاتول
۲۹	۲-۴-۴-۱ الکتروکاتول - نقره کلرید
۳۰	۳-۴-۴-۱ الکتروکاتول - جیوه (I) سولفات
۳۱	۵-۴-۱ الکتروکاتول کینیدرون
۳۲	۶-۴-۱ الکترودهای فلزی نوع سوم
۳۳	۷-۴-۱ الکترودهای غشایی
۳۳	۵-۱ پتانسیل های اتصال مایع
۳۶	۶-۱ الکترودهای اصلاح شده
۳۶	۷-۱ عوامل مؤثر بر الکترودها
۳۷	۷-۱-۱ الودگی محلول درونی الکتروکاتول
۳۸	۲-۷-۱ الودگی محله، مورد آزمایش
۳۸	۳-۷-۱ سهولت ساخت الکتروکاتول
۳۹	۴-۷-۱ اندازه الکتروکاتول
۳۹	۵-۷-۱ پایداری الکتروکاتول
۳۹	۸-۱ روش های عملیاتی
۴۰	۱-۸-۱ اندازه گیری پتانسیل
۴۲	۲-۸-۱ اندازه گیری جریان
۴۳	۹-۱ سرعت های انتقال الکترون، انتقال جرم و مفعول آن
۴۵	۱-۹-۱ جابه جایی الکترون از طریق الکتروکاتول
۴۵	۲-۹-۱ جابه جایی الکترون در عرض سطح مشترک الکتروکاتول - محلول
۴۷	۳-۹-۱ جابه جایی الکتروآنالیت از طریق محلول
۴۸	۱-۳-۹-۱ مهاجرت
۴۹	۲-۳-۹-۱ همرفت
۴۹	۳-۳-۹-۱ نفوذ
۵۰	۱۰-۱ خلاصه فصل اول
۵۱	خودآزمایی تستی فصل اول
۵۲	خودآزمایی تشریحی فصل اول
۵۵	فصل دوم. اندازه گیری های تعادلی
۵۵	هدف های کلی
۵۵	هدف های یادگیری
۵۵	مقدمه
۵۷	۱-۲ پتانسیل سلول الکتروشیمیایی
۵۹	۲-۲ معادله نرنست
۶۳	۱-۲-۲ محدودیت های معادله نرنست

۶۵	۳-۲ اثر قدرت یونی بر پتانسیل سلول
۶۶	۴-۲ الکترودهای یون‌گزین و روش عملکرد آنها
۶۸	۱-۴-۲ الکتروده شیشه‌ای و الکتروده pH سنجی
۶۹	۲-۴-۱-۱ ساختار الکتروده شیشه‌ای و الکتروده pH سنجی
۷۲	۲-۴-۱-۲ تئوری پتانسیل غشای شیشه
۷۵	۲-۴-۱-۳ رسانایی غشای شیشه‌ای
۷۶	۲-۴-۱-۴ پتانسیل عدم تقارن
۷۶	۲-۴-۱-۵ روابط مربوط به پتانسیل غشای شیشه
۷۸	۲-۴-۱-۶ گزینش پذیری الکتروده شیشه‌ای
۷۹	۲-۴-۱-۷ محدودیت‌های الکتروده شیشه‌ای
۸۱	۲-۴-۱-۸ مزایای الکتروده شیشه‌ای نسبت به سایر الکترودهای pH سنجی
۸۲	۲-۴-۱-۹ الکترودهای شیشه‌ای برای سایر یون‌ها
۸۴	۲-۴-۱-۱۰ الکترودهای غشایی غیرشیشه‌ای
۸۵	۲-۴-۳ الکترودهای حالت جامد
۸۵	۲-۴-۱-۳ ساختار الکتروده غشایی حالت جامد
۸۷	۲-۴-۳-۲ الکتروده یون‌گزین
۹۱	۲-۴-۳-۳ غشاهای جد تر
۹۱	۲-۴-۴ الکتروده غشای مایع
۹۳	۲-۴-۱ الکترودهای دارای عدا ی بادل یون و حامل‌های خشی
۹۶	۲-۵-۵ کاربردهایی از اندازه‌گیری‌های تعادل
۹۶	۲-۵-۱ تعیین pH و ثابت تفکیک اسیدها و بازی ضعیف
۹۸	۲-۵-۲ تعیین ثابت‌های حلالت
۹۹	۲-۵-۳ تعیین ثابت تعادل و جهت واکنش خودبه‌خودی
۱۰۰	۲-۵-۴ محاسبه پتانسیل الکتروده با استفاده از E°
۱۰۲	۲-۵-۵ تعیین ثابت تشکیل و ثابت ناپایداری کمپلکس
۱۰۲	۲-۵-۶ محاسبه ثابت تعادل واکنش‌های اکسایش - کاهش
۱۰۳	۲-۶ دلایل خطا و تصحیح آنها
۱۰۴	۲-۶-۱ گذر جریان الکتریکی از سلول
۱۰۵	۲-۶-۲ گذر جریان الکتریکی از الکترودهای مرجع
۱۰۵	۲-۶-۳ تعیین غلظت در f_1 نامعلوم
۱۰۶	۲-۶-۴ طراحی سلول و اثرات افت IR
۱۰۶	۲-۶-۵ منابع اضافی پتانسیل به علت انتقال یونی در سلول‌ها
۱۰۷	۲-۶-۶ پتانسیل اتصال
۱۱۰	۲-۶-۷ استفاده از پل نمکی
۱۱۲	۲-۶-۸ اثر الکترولیت‌های کمکی
۱۱۲	۲-۷ خلاصه فصل دوم

۱۱۳	خودآزمایی تستی فصل دوم
۱۱۴	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۱۲۱	فصل سوم. پتانسیل سنجی
۱۲۱	هدف های کلی
۱۲۱	هدف های یادگیری
۱۲۱	مقدمه
۱۲۳	۳-۱ اندازه گیری نیروی الکتروموتوری سلول
۱۲۴	۳-۱-۱ پتانسیل سنج
۱۲۵	۳-۲ پتانسیل پای - جریان پای
۱۲۷	۳-۱-۳ سلول استاندارد دو ستون
۱۲۸	۳-۲ روش های تجزیه پتانسیل سنجی
۱۲۸	۳-۲-۱ روش های رانت
۱۲۹	۳-۲-۲ روش های افریدی
۱۳۲	۳-۲-۳ سنجش های حجمی پتانسیل سنجی
۱۳۸	۳-۲-۳-۱ تعیین ثابت حلالیت نمک محلول
۱۴۲	۳-۳ صحت روش های پتانسیل سنجی
۱۴۳	۳-۳-۱ بررسی خطاها
۱۴۳	۳-۳-۱-۱ خطاهای روزمره
۱۴۴	۳-۳-۲ خطاهای ناشی از دقت کم در تعیین حجم
۱۴۴	۳-۳-۳ خطاهای ناشی از گزینش پذیری ضعیف SE
۱۴۵	۳-۴ مزایای روش های پتانسیل سنجی
۱۴۵	۳-۵ کاربردهایی از پتانسیل سنجی
۱۴۶	۳-۵-۱ سنجش های اکسایش - کاهش
۱۵۰	۳-۵-۲ سنجش های حجمی رسوبی
۱۵۰	۳-۵-۲-۱ سنجش حجمی یون کلرید با نیترات نقره
۱۵۲	۳-۵-۲-۲ سنجش حجمی مخلوط هالیدها
۱۵۳	۳-۵-۳ اندازه گیری pH
۱۵۵	۳-۵-۴ سنجش حجمی اسیدها و بازها در محلول آبی
۱۵۷	۳-۶ دستگاه های سنجنده خودکار
۱۵۸	۳-۷ سنجش حجمی به روش دیفرانسیلی
۱۶۰	۳-۸ خلاصه فصل سوم
۱۶۰	خودآزمایی تستی فصل سوم
۱۶۱	خودآزمایی تشریحی فصل سوم

۱۶۷	فصل چهارم. کولن سنجی و الکترووزنی
۱۶۷	هدف‌های کلی
۱۶۷	هدف‌های یادگیری
۱۶۷	مقدمه
۱۶۸	۱-۴ مروری بر قوانین فاراده
۱۷۳	۱-۱-۴ بارالکتریکی فاراده‌ای و غیرفاراده‌ای
۱۷۵	۱-۲-۴ اثرات جذب، ظرفیت و لایه دوگانه الکتریکی
۱۸۰	۲-۴ روش‌های کولن سنجی
۱۸۱	۱-۲-۴ کولن سنجی در پتانسیل کنترل شده
۱۸۳	۱-۲-۴ کاربرد کولن سنجی در پتانسیل ثابت
۱۸۴	۲-۲-۴ کولن سنجی در جریان کنترل شده (سنجش‌های کولن سنجی)
۱۸۶	۱-۲-۴ دستگاه الکترولیز سنجش کولن سنجی
۱۸۷	۲-۲-۴ کاربرد سنجش‌های کولن سنجی
۱۸۷	۱-۲-۲-۲-۴ سنجش‌های خشی شدن
۱۹۰	۱-۲-۲-۴ سنجش‌های اکسایش - کاهش
۱۹۱	۳-۲-۴ مقایسه سنجش‌های کولن سنجی و حجم سنجی
۱۹۱	۴-۲-۴ دستگاه‌های سنجش کولن سنجی خودکار
۱۹۲	۵-۲-۴ بررسی خطاها
۱۹۳	۳-۴ روش‌های تجزیه الکترووزنی
۱۹۵	۱-۳-۴ خواص فیزیکی رسوب‌های الکترالیتی
۱۹۵	۲-۳-۴ دستگاه‌وری
۱۹۷	۳-۳-۴ کاربردهای الکترووزنی
۱۹۹	۴-۴ میکروالکترودها
۲۰۰	۵-۴ خلاصه فصل چهارم
۲۰۰	خودآزمایی تستی فصل چهارم
۲۰۲	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم
۲۰۵	فصل پنجم. اندازه‌گیری پویا (سیستم تحت کنترل نفوذ - پلاروگراف)
۲۰۵	هدف‌های کلی
۲۰۵	هدف‌های یادگیری
۲۰۶	مقدمه
۲۰۶	۱-۵ ولتامتری
۲۱۰	۲-۵ کروئوآمپرسنجی
۲۱۱	۳-۵ لایه نرنست (لایه تهی سازی)
۲۱۴	۴-۵ معادله کوتزل
۲۱۶	۵-۵ پلاروگرافی در الکترودهای جیوه
۲۱۷	۱-۵-۵ دستگاه پلاروگراف
۲۱۸	۲-۵-۵ پلاروگرام‌ها
۲۲۱	۳-۵-۵ عملیات پلاروگرافی

۲۲۲	۵-۳-۱ شرایط محلول در پلاروگرافی
۲۲۲	۵-۳-۲ حلال ها
۲۲۳	۵-۳-۳ الکترولیت پشتیبان
۲۲۵	۵-۴ الکترود قطره جیوه
۲۲۸	۵-۴-۱ ویژگی های فیزیکی الکترود
۲۲۹	۵-۴-۲ ویژگی های الکتریکی الکترود
۲۲۹	۵-۴-۳ بیشینه های جریان الکتریکی
۲۳۴	۵-۵ معادله ایلکوویچ
۲۳۶	۵-۵-۶ معادله هیرووسکی - ایلکوویچ
۲۳۸	۵-۷ رباتر با داده های پلاروگرافی، تعیین $E_{1/2}$ و استفاده آن
۲۴۰	۵-۸ حلال های از روند عملیات پلاروگرافی DC
۲۴۱	۵-۹ کاربرد پلاروگرافی در تجزیه کیفی
۲۴۲	۵-۱۰ از ره گیری پتانسیل نیمه موج
۲۴۲	۵-۹-۲ تجزیه کیفی چند جزئی
۲۴۵	۵-۱۰ کاربرد پلاروگرافی در تجزیه کمی
۲۴۵	۵-۱۰-۱ روش ماس با معیار استاندارد
۲۴۶	۵-۱۰-۲ روش رسم منحنی
۲۴۷	۵-۱۰-۳ روش افزایش استاندارد
۲۴۸	۵-۱۱ کاربرد پلاروگرافی در تجزیه سایر مواد
۲۴۸	۵-۶ پلاروگرافی جریان متناوب
۲۵۰	۵-۷ دلایل خطا و تصحیح آن
۲۵۰	۵-۸ خلاصه فصل پنجم
۲۵۱	خودآزمایی تستی فصل پنجم
۲۵۲	خودآزمایی تشریحی فصل پنجم
۲۵۷	فصل ششم. اندازه گیری پویا (سیستم تحت کنترل نفوذ- سایر روش های ولتاژ)
۲۵۷	هدف های کلی
۲۵۷	هدف های یادگیری
۲۵۷	مقدمه
۲۵۸	۶-۱ ولتامتری رویش خطی و چرخه ای
۲۶۴	۶-۱-۱ معادله رندلس - سوپک
۲۶۶	۶-۲ بهبود حساسیت (روش های تپی)
۲۶۷	۶-۲-۱ ولتامتری تپی نرمال
۲۶۸	۶-۲-۲ ولتامتری تپی اختلافی
۲۷۲	۶-۲-۳ ولتامتری تپی موج مربعی
۲۷۴	۶-۳ ولتامتری برهنه سازی

۲۷۴	۱-۳-۶ ولتاژمتری برهنه‌سازی آندی (ASV)
۲۷۵	۲-۳-۶ ولتاژمتری برهنه‌سازی کاتدی (CSV)
۲۷۷	۴-۶ سنجش‌های آمپرسنجی
۲۷۸	۱-۴-۶ سنجش‌های آمپرسنجی با الکتروود قطره جیوه
۲۸۲	۲-۴-۶ سنجش‌های آمپرسنجی با دو الکتروود شناساگر (بی‌آمپرسنجی)
۲۸۷	۵-۶ خلاصه فصل ششم
۲۸۸	خودآزمایی تستی فصل ششم
۲۸۹	خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۲۹۳	فصل هفتم. اندازه‌گیری پویا، (سیستم تحت کنترل همرفت)
۲۹۳	هدف‌های کلی
۲۹۳	هدف‌های یادگیری
۲۹۳	مقدمه
۲۹۴	۱-۷ الکتروود دیسک چرخان
۲۹۸	۲-۷ معادله لویج
۳۰۴	۳-۷ خلاصه فصل هفتم
۳۰۵	خودآزمایی تستی فصل هفتم
۳۰۶	خودآزمایی تشریحی فصل هفتم
۳۰۷	فصل هشتم. روش‌های هدایت‌سنجی
۳۰۷	هدف‌های کلی
۳۰۷	هدف‌های یادگیری
۳۰۷	مقدمه
۳۰۸	۱-۸ مروری بر هدایت الکتریکی محلول‌ها
۳۱۲	۲-۸ دستگاهوری
۳۱۴	۳-۸ روش‌های تجزیه هدایت‌سنجی
۳۱۶	۴-۸ چند کاربرد سنجش‌های هدایت‌سنجی
۳۱۹	۵-۸ خلاصه فصل هشتم
۳۲۰	خودآزمایی تستی فصل هشتم
۳۲۱	خودآزمایی تشریحی فصل هشتم
۳۲۵	پیوست‌ها
۳۲۹	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۳۳۳	منابع

پیشگفتار

خداوند متعال را سپاس که به اینجانب فرصت داد تا با تجدید نظر اساسی در کتاب شیمی تجزیه (۲) تألیف سال ۱۳۸۴، خدمت کوچکی به جامعه علمی کشور، به‌ویژه دانشجویان عزیز انجام دهم.

چون براساس سرفصل‌های اعلام شده از طرف شورای برنامه‌ریزی درسی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، درس شیمی تجزیه از دو واحد درسی به سه واحد درسی افزایش داده شد، کتاب حاضر نیز مطابق این سرفصل‌های جدید، تجدید نظر و تألیف شده است. این کتاب در ۸ فصل تدوین شده است. در فصل اول، کلیاتی بر الکتروشیمی آورده شده است، که درک آن به فهم مطالب سایر فصل‌ها کمک زیادی می‌کند. در فصل دوم به مفاهیم بنیادی روش‌های تجزیه تجزیه‌ای پرداخته شده است، که درک آن‌ها به‌ویژه برای فهم مطالب فصل سوم اهمیت دارد. در فصل سوم، اصول و کاربردهای روش‌های پتانسیل‌سنجی بیان شده است.

در فصل‌های چهارم تا هفتم، اصول، دستگاه‌وری و کاربردهای برخی از مهم‌ترین روش‌های الکتروتجزیه‌ای مبتنی بر برق‌کافت، آورده شده است. در فصل چهارم، روش‌های کولن‌سنجی و الکترووزنی شرح داده شده است. در فصل‌های پنجم و ششم، اندازه‌گیری پویا (سیستم تحت کنترل نفوذ) بیان شده است، که به ترتیب در فصل پنجم پلاروگرافی و در فصل ششم سایر روش‌های ولتامتری، شرح داده شده است. در فصل هفتم، روش‌های اندازه‌گیری پویا، (سیستم تحت کنترل همرفت) و به‌ویژه روش هیدروپویا، به‌طور بسیار مختصر، به‌منظور آشنایی اولیه دانشجویان با این

مفاهیم، شرح داده شده است. اصول، دستگاہوری و کاربردهایی از روش هدایت سنجی در فصل هشتم به طور بسیار مختصر بیان شده است.

به منظور خودآموز بودن این کتاب، تلاش شده است که مطالب بسیار روان نگارش شده و از سوال‌ها و مثال‌های هدف‌دار، برای درک بهتر دانشجویان گرامی، استفاده شود. هرچند به زعم خود کتابی بی‌عیب تألیف کرده‌ام، ولی مطمئناً ایراداتی دارد، لذا خواهشمند است با ارسال نظرات ارزشمند خود به یکی از پست‌های الکترونیکی زیر اینجانب را در رفع این اشکالات در چاپ‌های بعدی یاری فرمایید.

mahmood_payehghadr@yahoo.com

mpayehghadr@pnu.ac.ir

محمود پایه‌قدر

پاییز ۱۳۹۶