مبانی بیوفیزیک:

بیوفیزیک پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و طیف‌سنجی

(چاپ چهارم)

نگارندگان

دکتر بیژن رنجبر

استاد بیوفیزیک دانشگاه تربیت مدرس

دکتر حسین نادری‌منش

استاد بیوفیزیک دانشگاه تربیت مدرس

دکتر خسرو خلیفه

دانشیار بیوفیزیک دانشگاه زنجان

1402

سرشناسه: رنجبر، بیژن، 1345
عنوان و نام پدیدآور: مبانی بیوفیزیک پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و طیف‌سنجی
نگارندگان: بیژن رنجبر، حسین نادری‌منش، خسرو خلیفه
مشخصات نشر: تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
مشخصات ظاهری: 392 ص.
شابک: 978-600-5394-34-4
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
موضوع: فیزیک زیستی - راهنمای آموزشی (عالی)
شناسه افزوده: نادری‌منش، حسین، 1336
شناسه افزوده: خلیفه، خسرو، 1354
رده‌بندی کنگره: 1389 2م9ر/QH505
رده بندی دیویی: 571/4
شماره کتابشناسی ملی: 2267823

مبانی بیوفیزیک: بیوفیزیک پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و طیف‌سنجی

نگارندگان: دکتر بیژن رنجبر، دکتر حسین نادری منش، دکتر خسرو خلیفه
ویراستار ادبی و فنی: آتوما فروهی
کارشناس اجرایی: مرسده برنجی
طراح جلد: سمیرا آفرینش
حروفچین: فریبا کرمانی
ناشر: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
شماره انتشار: 118
شماره پیاپی: 494
تاریخ انتشار: 1402
شمارگان: 500
شابک: 978-600-5394-34-4
چاپ سوم: 1398
چاپ چهارم: 1402
ناظر چاپ: مصطفی جانجانی
لیتوگرافی: ایران گرافیک
چاپ و صحافی: شمس
مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های جلال آل احمد و دکتر چمران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: 318-14115
تلفن: 82883096
دورنگار: 82883032
بها: 2000000 ریال

صحت مطالب کتاب بر عهدهٔ نگارندگان است.

تقدیم به:

تمامی پویندگان حقیقی علم و معرفت به ویژه استادان و دانشجویان شهیدی که با بذل جان، هنر خویش را در حفظ، تقویت و استحکام نظام ولایی و مقدس جمهوری اسلامی ایران به منصه ظهور رسانده، امنیت ملی این سرزمین را تضمین نمودند.

فهرست

پیشگفتار ..... **ک**

فصل اول: بیوفیزیک پروتئین‌ها ۱

۱-۱ ساختار و خصوصیات آمینواسیدها ۱

۱-۲ مفهوم اسید و باز در شیمی- فیزیک ۴

۱-۳ کایرالیته (دست‌گردی) در مولکول‌های زیستی ۱۸

۱-۴ تشکیل پیوند پپتیدی و ایجاد زنجیره پلی‌پپتیدی ۲۱

۱-۵ صورت‌بندی و پیکربندی و ترتیب‌بندی ۲۳

۱-۶ زوایای دووجهی و چرخشی ۲۴

۱-۷ زوایای دووجهی در زنجیره پلی‌پپتیدی ۲۷

۱-۸ خواص پیوند پپتیدی ۲۸

۱-۹ منحنی راماچاندران ۳۰

۱-۱۰ ساختار اول پروتئین ۳۲

۱-۱۱ ساختار دوم پروتئین ۳۸

۱-۱۱-۱ مارپیچ آلفا ۳۹

۱-۱۱-۲ مارپیچ 3_{10} ۴۱

۱-۱۱-۳ مارپیچ π ۴۲

۱-۱۱-۴ رشته β ۴۲

۱-۱۱-۵ ساختارهای دوم دیگر ۴۳

۱-۱۱-۶ دورها ۴۴

۱-۱۱-۶-۱ دور گاما ۴۶

۱-۱۱-۶-۲ دور بتا ۴۶
۱-۱۱-۷ ساختارهای مافوق دوم ۴۶
۱-۱۱-۸ پروتئین‌های تمام آلفا ۴۷
۱-۱۱-۹ پروتئین‌های تمام بتا ۴۹
۱-۱۱-۱۰ پروتئین‌های آلفا/بتا ۴۹
۱-۱۱-۱۱ پروتئین‌های $\alpha+\beta$ ۵۰
۱-۱۲ ساختار سوم پروتئین ۵۱
۱-۱۲-۱ درون و بیرون پروتئین ۵۲
۱-۱۲-۲ دُمین‌ها ۵۳
۱-۱۲-۳ میان‌کنش‌های مهم در تشکیل و حفظ ساختار سوم ۵۳
۱-۱۲-۳-۱ پل‌های دی‌سولفیدی ۵۳
۱-۱۲-۳-۲ میان‌کنش هیدروژنی ۵۳
۱-۱۲-۳-۳ میان‌کنش هیدروفوبی ۵۴
۱-۱۲-۳-۴ میان‌کنش الکترواستاتیک ۵۸
۱-۱۲-۳-۵ میان‌کنش دوقطبی- بار و میان‌کنش دوقطبی- دوقطبی ۶۰
۱-۱۲-۳-۶ میان‌کنش واندروالس ۶۱
۱-۱۳ ساختار چهارم ۶۳
۱-۱۴ حلالیت پروتئین ۶۳
۱-۱۴-۱ تأثیر میان‌کنش الکترواستاتیک بر حلالیت پروتئین ۶۵
۱-۱۴-۲ حلالیت و عدم حلالیت با کمک نمک ۶۵
۱-۱۴-۳ تأثیر افزودنی‌های غیرقطبی بر حلالیت پروتئین‌ها ۶۸
۱-۱۵ تاخوردگی پروتئین ۶۸
۱-۱۵-۱ ساختارهای واسرشته و تاخورده پروتئین ۶۹
۱-۱۵-۲ پارادوکس لوینتال ۷۰
۱-۱۵-۳ مروری بر نظریات مهم درباره تاخوردگی پروتئین ۷۱
۱-۱۵-۴ مطالعات تاخوردگی و واسرشتگی پروتئین ۷۸

۱-۱۵-۴-۱ اهمیت مطالعات سینتیکی و ترمودینامیکی در مطالعات تاخوردگی پروتئین ۷۸
۱-۱۵-۴-۲ ترمودینامیک و سینتیک تاخوردگی ۸۲
۱-۱۵-۴-۳ تفاوت ساختار حدواسط و ساختار حالت گذار در مسیر واکنش ۸۳
۱-۱۵-۴-۴ تفاوت حالت گذار در واکنش‌های شیمیایی ساده و واکنش‌های تاخوردگی پروتئین ۸۶
۱-۱۵-۴-۵ اهمیت میان‌کنش‌های غیرکووالانی در مطالعات مبتنی بر مهندسی پروتئین ۸۷
۱-۱۵-۴-۶ شیوه انجام آزمایش‌های ترمودینامیک تعادلی و تجزیه و تحلیل داده‌ها ...۸۹
۱-۱۵-۴-۷ شیوه انجام مطالعات سینتیکی و تجزیه و تحلیل نتایج ۹۵
۱-۱۵-۴-۸ برتری مطالعه واسرشتگی نسبت به تاخوردگی در تعیین حالت گذار ۱۰۲
۱-۱۵-۴-۹ چگونگی رسم پروفیل انرژی آزاد یک واکنش ۱۰۳
۱-۱۵-۴-۱۰ محاسبه تغییرات انرژی آزاد بین پروتئین وحشی و جهش‌یافته‌های آن ۱۰۵
۱-۱۵-۴-۱۱ نمودار اختلاف انرژی آزاد ۱۰۷
۱-۱۵-۴-۱۲ چرخه ترمودینامیکی ۱۰۸
۱-۱۵-۴-۱۳ ردیابی ساختار حالت‌های گذار و حدواسطها با استفاده از سینتیک و ترمودینامیک ۱۱۱
۱-۱۵-۴-۱۴ تفسیر φ-value ۱۱۵
۱-۱۵-۴-۱۵ پیش فرض‌های مورد نیاز در تعیین عدد فی ۱۱۶
۱-۱۵-۵ تکامل پروتئین‌ها و سینتیک تاخوردگی ۱۱۷
۱-۱۵-۶ نقش و اهمیت لوپ‌ها در پایداری و سینتیک تاخوردگی پروتئین‌ها ۱۱۸

فصل دوم: بیوفیزیک اسیدهای نوکلئیک ۱۲۱
۲-۱ مقدمه ۱۲۱
۲-۲ ساختار اسیدهای نوکلئیک ۱۲۴
۲-۳ توتومریسم بازها ۱۳۲
۲-۴ زوایای دووجهی در نوکلئوتیدها ۱۳۲

۲-۵ چین‌خوردگی قندها ۱۳۳
۲-۶ پیکربندی Syn و Anti ۱۳۵
۲-۷ تفاوت‌های ساختاری اسیدهای نوکلئیک ۱۳۷
۲-۸ متیلاسیون DNA ۱۳۸
۲-۹ دیمریزاسیون تیمین ۱۳۹
۲-۱۰ دآمیناسیون ۱۳۹
۲-۱۱ نیروهای مؤثر در پایداری ساختار دوم DNA ۱۴۰
۲-۱۱-۱ میان‌کنش‌های هیدروژنی ۱۴۰
۲- ۱۱- ۱- ۱ الگوی جفت شدن بازها ۱۴۲
۲-۱۱-۲ میان‌کنش استاکینگ ۱۴۶
۲-۱۲ چند شکلی در DNA ۱۴۷
۲-۱۲-۱ خانواده B-DNA ۱۴۹
۲-۱۲-۲ خانواده A-DNA ۱۵۱
۲-۱۲-۳ خانواده Z-DNA ۱۵۳
۲-۱۲-۳-۱ اهمیت زیستی Z-DNA ۱۵۵
۲-۱۲-۴ DNA سه‌رشته‌ای و H-DNA ۱۵۶
۲-۱۲-۵ چهاررشته‌ای‌های DNA و تلومرها ۱۵۸
۲-۱۲-۶ DNA صلیبی ۱۵۹
۲-۱۲-۷ I-DNA ۱۶۰
۲-۱۲-۸ P-DNA ۱۶۱
۲-۱۲-۹ DNAهای گل‌کلمی ۱۶۱
۲-۱۳ دینامیک بازها ۱۶۳
۲-۱۴ ابرمارپیچ شدن و تشکیل ساختار سوم در DNA ۱۶۴
۲-۱۴-۱ مثال ۱۷۸

فصل سوم: روش‌های اسپکتروسکوپی ۱۸۱

۳-۱ مقدمه ۱۸۱
۳-۲ ماهیت موجی تشعشعات الکترومغناطیس ۱۸۱
۳-۳ مدل‌های اتمی ۱۸۵
۳-۳-۱ مدل کلاسیک سیاره‌ای یا منظومه‌ای ۱۸۵
۳-۳-۲ آزمایش طیف نشری هیدروژن و مدل اتمی بور ۱۸۶
۳-۳-۳ نتیجه‌گیری کلی ۱۸۸
۳-۴ خصوصیات فیزیکی نور ۱۸۹
۳-۴-۱ اثر فوتوالکتریک و خاصیت ذره‌ای، کوآنتومی(ناپیوسته بودن) نور ۱۹۱
۳-۵ گذارهای مورد مطالعه در اسپکتروسکوپی ۱۹۳
۳-۵-۱ گذارهای الکترونی در اتم‌ها ۱۹۳
۳-۵-۲ برانگیختگی وگذار الکترونی در مولکول‌ها ۱۹۴
۳-۵- ۳ برانگیختگی و گذارهای ارتعاشی و چرخشی در مولکول‌ها ۱۹۷
۳-۶ اساس فیزیکی اسپکتروسکوپی جذبی و فلوئورسانس ۱۹۸
۳-۷ انواع کروموفورها ۲۰۲
۳-۷-۱ برخی کروموفورهای داخلی زیستی (کروموفورهای ذاتی) ۲۰۲
۳-۷-۲ بیان ریاضی جذب ۲۰۵
۳-۷-۳ جذب ظاهری یا چگالی نوری (OD) ۲۰۷
۳-۷-۴ آثار جهت‌گیری کروموفورها بر طیف جذبی ۲۰۷
۳-۷-۵ کاربرد اسپکتروسکوپی جذبی در بررسی واسرشتگی دمایی DNA ۲۰۹
۳-۷-۶ سنجش فعالیت آنزیم‌ها با استفاده از تکنیک جذب ۲۱۳
۳-۸ فلوئورسانس در پروتئین‌ها ۲۱۵
۳-۸-۱ جابجایی باند فلوئورسانس ۲۱۷
۳-۸-۲ کاربرد ANS در مطالعات ساختاری ۲۱۹
۳-۸-۳ پدیده انتقال انرژی در فلوئورسانس ۲۲۱
۳-۸-۴ فرونشانی در فلوئورسانس ۲۲۳
۳-۸-۴-۱ فرونشانی درون مولکولی فلوئورسانس در پروتئین‌ها ۲۲۳

۳-۸-۴-۲ فرونشانی بین مولکولی در فلوئورسانس تریپتوفان ۲۲۵
۳-۸-۴-۳ بررسی مولکولی فرونشانی خارجی ۲۲۵
۳-۸-۵ فلوئورسانس در اسیدهای نوکلئیک ۲۳۲
۳-۹ اساس فیزیکی فسفورسانس ۲۳۳
۳-۱۰ شیمیو لومینسانس ۲۳۵
۳-۱۱ دورنگ‌نمایی دورانی ۲۳۶
۳-۱۱-۱ نور قطبی شده ۲۳۶
۳-۱۱-۲ اساس فیزیکی دورنگ نمایی دورانی ۲۳۹
۳-۱۱-۳ دستگاه CD و شرایط آزمایش ۲۴۲
۳-۱۱-۴ CD در مولکول‌های زیستی ۲۴۴
۳-۱۱-۴-۱ دورنگ نمایی دورانی اسیدهای نوکلئیک ۲۴۴
۳-۱۱-۴-۲ طیف CD در پروتئین‌ها ۲۴۷
۳-۱۱-۵ کروموفورهای غیرپروتئینی در دورنگ‌نمایی دورانی ۲۵۴
۳-۱۱-۵-۱ پیریدوکسال-۵ فسفات ۲۵۴
۳-۱۱-۵-۲ فلاوین‌ها (FAD-FMN) ۲۵۴
۳-۱۱-۵-۳ گروه هِم ۲۵۵
۳-۱۱-۵-۴ رنگیزه‌های فتوسنتزی ۲۵۵
۳-۱۱-۶ دورنگ نمایی دورانی مبتنی بر تشعشع سینکروترون ۲۵۵
۳-۱۱-۷ اساس فیزیکی دورنگ‌نمایی دورانی مغناطیسی ۲۵۷
۳-۱۱-۸ کروموفورهای زیستی در دورنگ نمایی مغناطیسی ۲۵۹
۳-۱۱-۸-۱ پیوندهای پپتیدی ۲۵۹
۳-۱۱-۸-۲ آمینواسیدهای آروماتیک ۲۵۹
۳-۱۱-۸-۳ پروتئین‌های دارای هِم ۲۶۰
۳-۱۱-۸-۴ سیتوکروم p-450 ..... ۲۶۱
۳-۱۱-۸-۵ سیتوکروم C اکسیداز ۲۶۲
۳-۱۱-۸-۶ هموپکسین‌ها ۲۶۲

۳-۱۱-۸-۷ پروتئین‌های حاوی گوگرد- آهن ۲۶۲
۳-۱۱-۸-۸ پروتئین‌های واجد کبالت- نیکل و مس ۲۶۳
۳-۱۱-۸-۹ لانتانیدها ۲۶۴
۳-۱۱-۸-۱۰ اسیدهای نوکلئیک ۲۶۵
۳-۱۱-۸-۱۱ ذرات ریز ۲۶۵
۳-۱۲ اسپکتروسکوپی جریان متوقف ۲۶۶
۳-۱۲-۱ شیوه‌های انجام آزمایش با سیستم جریان متوقف ۲۶۶
۳-۱۲-۲ طراحی و انجام یک آزمایش سینتیکی ۲۶۷
۳-۱۲-۳ دورنگ نمایی دورانی جریان متوقف ۲۷۱
۳-۱۳ انکسار چرخشی نور ۲۷۲
۳-۱۴ اسپکتروسکوپی ارتعاشی ۲۷۲
۳-۱۴-۱ مدل نوسانگر منظم در ارتعاشات پیوندی ۲۷۳
۳-۱۴-۲ مدل نوسانگر نامنظم در ارتعاشات پیوندی ۲۸۲
۳-۱۴-۳ ارتعاشات مولکول‌های چند اتمی ۲۹۰
۳-۱۴-۴ اساس فیزیکی و کاربردهای اسپکتروسکوپی رامان ۲۹۴
۳-۱۴-۵ اسپکتروسکوپی ارتعاشی در پروتئین‌ها ۳۰۱
۳-۱۴-۵-۱ انواع ارتعاشات در پروتئین‌ها ۳۰۱
۳-۱۴-۵-۲ اسپکتروسکوپی ارتعاشی پیوند پپتیدی ۳۰۲
۳-۱۴-۵-۳ ارتعاشات کششی اسکلت اصلی ۳۰۵
۳-۱۵ اسپکتروسکوپی تشدید رزونانس هسته‌ای..... ۳۰۸
۳-۱۵-۱ نظریه انیشتین درباره گذارها ۳۰۸
۳-۱۵-۲ اساس فیزیکی NMR و ESR ۳۰۹
۳-۱۵-۳ آزمایش اشترن-گرلاخ ۳۱۵
۳-۱۵-۴ آزمایش اشترن-گرلاخ اصلاح شده ۳۱۶
۳-۱۵-۵ سطوح انرژی اسپینی هسته‌ها ۳۱۷
۳-۱۵-۶ آزمایش رابی ۳۲۰

۳-۱۵-۷ پدیده مغناطیس‌شدگی در NMR ۳۲۲
۳-۱۵-۸ اندازه‌گیری سیگنال در NMR ۳۲۵
۳-۱۵-۹ زمان آسایش در NMR ۳۲۸
۳-۱۵-۱۰ اثرپوشش شیمیایی در NMR ۳۲۹
۳-۱۵-۱۱ تبدیل فوریه ۳۳۲
۳-۱۵-۱۱-۱ اساس فیزیکی اسپکتروسکوپی تبدیل فوریه ۳۳۳
۳-۱۵-۱۲ شیفت شیمیایی ۳۳۶
۳-۱۵-۱۳ میان‌کنش‌های مهم در NMR ۳۴۱
۳-۱۵-۱۳-۱ جفت‌شدگی J ۳۴۱
۳-۱۵-۱۳-۲ میان‌کنش از طریق فضا ۳۴۳
۳-۱۵-۱۴ طیف یک بعدی آمینواسید والین ۳۴۶
۳-۱۵-۱۵ طیف NMR دو بعدی COESY رزیدوی والین ۳۴۷
۳-۱۶ اسپکتروسکوپی تشدید رزونانس الکترونی ESR ۳۴۹
۳-۱۶-۱ کاربردهای اسپکتروسکوپی ESR ۳۵۰
۳-۱۷ حساسیت و دقت در روش‌های اسپکتروسکوپی ۳۵۰
۳-۱۸ بلورشناسی با اشعه ایکس ۳۵۲
۳-۱۸-۱ چگونگی تشکیل کریستال ۳۵۳
۳-۱۸-۲ اساس فیزیکی کریستالوگرافی اشعه X ۳۵۴
۳-۱۹ پراش نوترونی و الکترونی ۳۵۶
۳-۲۰ پلاسمون سطحی مبتنی بر رزونانس (SPR) ۳۵۷
۳-۲۰-۱ مقدمه ۳۵۷
۳-۲۰-۲ مفاهیم پایه در روش SPR ۳۶۱
۳-۲۰-۳ اصول کلی SPR ۳۶۵
۳-۲۰-۴ اندازه‌گیری طیف SPR بر حسب زمان ۳۶۸
۳-۲۰-۵ چگونگی انجام آزمایش با SPR ۳۷۰
۳-۲۰-۶ منحنی کالیبراسیون ۳۷۳

۳-۲۰-۷ تعیین پارامترهای سینتیکی و ترمودینامیکی ۳۷۵
۳-۲۰-۸ پلاسمون سطحی مبتنی بر رزونانس موضعی (LSPR) ۳۷۷

منابع ۳۸۳

پیشگفتار نویسندگان

نون و القلم و ما یسطرون

خداوند حی سبحان را شاکریم که فرصت و شرایطی را فراهم آورد تا در راه خدمت به جامعه علمی کشور و توسعه فناوری و علوم نوین گامی هرچند کوچک را برداریم. این کتاب با توجه به درخواست و علاقه برخی از اساتید و دانشجویان رشته‌های مختلف علوم زیستی به‌ویژه بیوفیزیک، بیوشیمی، علوم سلولی و ملکولی و نانوزیست فناوری با رعایت اصل روزآمدی و امکان استفاده در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته‌های علوم زیستی به جامعه دانشگاهی تقدیم شده است. اثر حاضر با وجود استفاده از کتاب‌ها و مقالات پژوهشگران ذیربط، به‌طور ویژه، حاصل بخشی از تلاش پژوهش‌های نگارندگان و دانشجویان عزیزی است که عشق به این مرز و بوم را سرلوحه عمل خود قرار داده‌اند، به‌ویژه دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس که مطالب مفیدی در قالب پایان‌نامه و رساله‌های ایشان در این مجموعه استفاده شده است. با توجه به حجم گسترده مطالب در حوزه مباحث بیوفیزیک، بررسی ساختار پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و روش‌های طیف‌سنجی در این جلد از کتاب ارائه شده و بخش دوم که شامل مروری بر اصول مقدماتی شیمی- فیزیک و ترمودینامیک، ترمودینامیک حیات و شیوه‌های مدل‌سازی داده‌های آزمایشگاهی در مطالعات مبتنی بر ساختار و فعالیت پروتیین‌ها و آنزیم‌ها است، در جلد دیگری با عنوان بیوشیمی- فیزیک تقدیم اساتید، دانشجویان و علاقه‌مندان خواهد شد.

در فصل اول کتاب، بیوفیزیک پروتئین‌ها بحث و بررسی شده است که در خصوص ساختار و خصوصیات اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، میان‌کنش‌های مهم در تشکیل و حفظ ساختار و تاخوردگی پروتئین‌ها بررسی شده است. در فصل دوم کتاب، ساختار اسیدهای نوکلئیک، نیروهای مؤثر در پایداری ساختارهای آنها و انواع ساختارهای DNA بحث و بررسی شده‌اند که در این فصل

پیشگفتار نگارندگان ل

ساختار جدیدی از DNA را نگارندگان معرفی کرده‌اند. فصل سوم کتاب به روش‌های اسپکتروسکوپی اختصاص دارد که روش‌های طیف‌سنجی جذبی، فلوئورسانس، فسفرسانس، دورنگ‌نمایی دورانی، طیف‌سنجی جریان متوقف، ارتعاشی، NMR و کریستالوگرافی اشعه ایکس بحث و بررسی شده است و مطالب مفیدی در خصوص روش‌ها، به‌خصوص روش طیف‌سنجی جریان متوقف که در کشور برای اولین بار در دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته، به نگارش در آمده است. امیدواریم این هدیه ناچیز به دانشجویان عزیز رشته‌های مختلف علوم زیستی به‌ویژه بیوفیزیک و بیوشیمی و اساتید و همکاران ارجمند در دانشگاه‌های کشور، مورد توجه و استفاده ویژه قرار گرفته و البته از تمامی این عزیزان درخواست می‌کنم که با پیشنهادهای خود اشکال و نقایص این مجموعه را متذکر شوند که در چاپ‌های بعدی اصلاحات لازم صورت پذیرد.

از خداوند کریم و علیم خواستاریم که استقامت، بصیرت و راستی به ما عنایت فرماید و اوست بهترین یاور و راهنما.

بیژن رنجبر- خسرو خلیفه - حسین نادری‌منش

1402