

۱۳۵۴۳۵۵

فیزیک نوین

ویرایش سوم

کیت، اس. کرین

مترجم:

علیرضا وفایی



انتشارات جاودان خرد

سرشناسه	: کرین، کنت، Krane, Kenneth S.
عنوان و نام پدیدآور	: فیزیک نوین / کنت اس. کرین؛ علیرضا وفایی.
مشخصات نشر	: مشهد: جاودان خرد، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۷۹ ص.: مصور؛ ۲۲ × ۲۹ س.م.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۶۸-۴۵-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Modern physics, 3rd ed, ۲۰۱۲.
یادداشت	: ویراست دوم این کتاب در سال ۱۳۸۷ تحت عنوان "فیزیک جدید" با ترجمه منیژه رهبر و بهرام معلمی توسط مرکز نشر دانشگاهی منتشر شده است.
عنوان دیگر	: فیزیک جدید.
موضوع	: فیزیک
موضوع	: Physics
شناسه افزوده	: وفایی، علیرضا، ۱۳۵۵ - مترجم
رده بندی کنگره	: الف ۱۳۹۵ ق ۹۴ ک ۲۱ / ۲ QC۲۱
رده بندی دیویی	: ۵۳۹
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۴۰۷۸۳۱



انتشارات جاودان خرد

فیزیک نوین (ویرایش سوم)

نویسنده: کنت اس. کرین

مترجم: علیرضا وفایی

مدیر تولید و ناظر چاپ: بابک کاشیچی

صفحه آرای و پیش از چاپ: طرح نگار پارسی - ۶۶۴۷۵۰۵۳

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

نوبت و تاریخ چاپ: اول - ۱۳۹۵

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۶۸-۴۵-۸

قیمت: ۴۹۰۰۰ تومان

حق چاپ برای ناشر محفوظ می‌باشد و هرگونه استفاده به هر شکل بدون اجازه کتبی ناشر پیگرد قانونی دارد

مراکز پخش: تهران - خیابان انقلاب - مقابل دانشگاه تهران - پلاک ۱۲۱۲ - انتشارات گوتنبرگ - تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۱۳۹۹۸
مشهد - خیابان احمد آباد - مقابل محتشمی - انتشارات جاودان خرد ۰۵۱-۳۸۴۳۴۵۲۷

مقدمه مترجم

شخصاً معتقدم درس فیزیک نوین در بین همه واحدهای درسی که در دوره‌ی کارشناسی ارائه می‌شود جایگاه بسیار ویژه‌ای دارد و شاید بتوان آن را نقطه عطف گذار به دنیای حرفه‌ای فیزیک تلقی کرد که در آن به یک باره بخش بسیار وسیعی از علم فیزیک به تصویر کشیده می‌شود و با این کار به نوعی قدرت علاقه‌مندی و تمایل پنهان یک دانشجوی جویای علم را تحریک و او را از آنچه که واقعاً به آن علاقه‌مند است آگاه می‌سازد. لذا با آگاهی از این نقش روشنگرانه آن چه که برای یک مترجم به عنوان اولین گزینه مطرح می‌شود انتخاب یک کتاب آموزشی جامع و کارآمد است که در آن مؤلف نقش اساسی مطالب کتاب را در شکل‌گیری آینده‌ی حرفه‌ای یک دانشجوی علاقه‌مند مدنظر داشته باشد. شاید به جرأت بتوان گفت مؤلف این اثر یکی از اساتید بسیار ممتاز و صاحب سبکی است که بنابر اظهار خردشان بخش محوری درس فیزیک نوین کاملاً آگاهی دارند. ایشان در این اثر به جای گردآوری ابویابی از مطالب و شکل‌دهی آن‌ها در قالب یک کتاب در واقع بر شیوه نگارش، چیدمان و سطح‌بندی مطالب تمرکز کرده است. نویسنده ضمن به‌روزرسانی تقریباً همه‌ی مطالب مورد بحث در ویراست قبلی با بهره‌گیری از مقالات چاپ شده جدید و الهام از سبک آموزش (JER (Physics Education Research) بخش آموزشی کتاب را کاملاً هدفمند و مؤثر کرده‌اند.

کم‌تر از یک ماه از چاپ نسخه‌ی اصلی کتاب در ایالات متحده آمریکا نمی‌گذشت که بخش سفارشات انتشارات جاودان خرد به پیشنهاد بنده اقدام به تهیه نسخه‌ی اصلی کتاب نمود. هر چند به محض دریافت نسخه‌ی اصلی کار ترجمه کتاب را آغاز کردم اما آگاهی از بخش محوری این کتاب ایجاب می‌کرد که کارها را با دقت و حوصله مضاعف پیش ببرم که البته این امر باعث شد ترجمه‌ی این اثر بیش از ۲ سال به درازا بکشد و در این مدت بیش از ده‌ها بار نسخه ترجمه شده روخوانی و با متن اصلی تطابق معنایی و محتوایی داده شد. هم‌چون کارهای قبل، مدیریت محترم انتشارات جاودان خرد از بنده خواستند که با انتشارات وایلی در ایالات متحده آمریکا مکاتبات و اقدام به اخذ مجوز ترجمه این اثر در ایران نمایم. هر چند این مکاتبات کمی به طول انجامید اما با همکاری خوب Mrs. Sue Mattingley، Mrs. Jessica Roslin و Mr. Brand Niftel قرارداد آماده و به امضای مدیر کل Mrs. Kristin Kliemann رسید که بدین وسیله از کلیه این اشخاص به دلیل آن‌که در کوتاه‌ترین زمان ممکن به نامه‌های من پاسخ دادند و در طی فرآیند اخذ مجوز همکاری قابل توجهی با بنده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

بدون شک همکاری با انتشارات گوتنبرگ و جاودان خرد را برای خود یک افتخار ارزشمند می‌دانم این دو انتشارات با داشتن سال‌ها تجربه در امور چاپ و نشر کتب دانشگاهی و عمومی به نوعی یک سرمایه‌ی ملی محسوب می‌شوند که همواره با رعایت اصول اخلاقی و حرفه‌ای گام‌های ارزشمندی در راه پیشرفت و اعتلای فرهنگی کشور عزیزمان برداشته‌اند. لذا بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای کاوه کاشی‌چی و جناب آقای مهندس بابک کاشی‌چی و سایر کارمندان محترم و سخت‌کوش این انتشارات اعلام می‌دارم.

در طی فرایند تولید این کتاب عزیزان بسیاری بنده را یاری کردند که در این خصوص وظیفه‌ی خود می‌دانم از دوست بسیار عزیز جناب آقای علیرضا برادران شکوهی که علی‌رغم مشغله فراوان

کاری، متواضعانه در آماده‌سازی نسخه‌ی اولیه و همین‌طور از سرکار خانم سلیمه سواری اردبیلی و همکاران ایشان که با دقت نظر زحمت نمونه‌خوانی را به عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم. در انتها با ذکر یک خاطره که البته بی‌ربط به این کتاب هم نیست و سپس بزرگداشت یک عزیز از دست‌رفته این پیشگفتار را به پایان می‌رسانم. شاید برای شما هم پیش آمده باشد که هنگام مطالعه‌ی یک کتاب چنان جذب قلم شیوا و شخصیت علمی مؤلف صاحب‌اثر می‌شوید که آرزو می‌کنید چه خوب می‌شد ایشان را از نزدیک هم می‌دید و از محضرش استفاده می‌کردید! اتفاقاً در تابستان سال ۲۰۱۵ میلادی هنگامی که در کشور ایتالیا میهمان مرکز تحقیقات ICTP بودم دانشمندان تراز اول زیادی را در آنجا دیدم اما ملاقات با پروفیسور Michael Peskin از مرکز شتاب‌دهنده‌ی SLAC دانشگاه استنفورد آمریکا برایم جذابیت ویژه‌ای داشت. یک روز هنگام صحبت با این استاد برجسته ناگهان از ذهنم خطور کرد که چه خوب می‌شد پروفیسور کنت اس کرین (مؤلف کتاب) را نیز در این سفر می‌دیدم. پس از پایان اقامتم در ایتالیا جهت ایراد سخنرانی در هجدهمین کنفرانس بین‌المللی QCD عازم کشور فرانسه شدم.

هر چند از اسامی اغلب شرکت‌کنندگان و حتی داوران و برخی میهمانان برنده جایزه نوبل فیزیک حاضر در کنفرانس از طریق وب‌سایت کنفرانس اطلاع داشتم اما نمی‌دانستم که این کنفرانس میهمانان ویژه‌ی دیگر نیز دارد که اسامی آن‌ها رسماً اعلام نشده است. خوشبختانه کمی پس از ورود به مرکز تحقیقات انرژی‌های بالا در شهر مونت پولیه فرانسه از حضور استاد محترم کنت اس کرین به عنوان یک مهمان ویژه در این کنفرانس مطلع شدم. با ایشان از طریق ایمیل مکاتبات متفرقه‌ی زیادی انجام داده بودم اما ملاقات حضوری با این دانشمند تراز اول بسیار مرا خشنود کرد از ایشان به واسطه‌ی تألیف چنین کتاب ارزشمندی بسیار تشکر کردم و البته ایشان نیز متواضعانه درباره‌ی این درس و تأثیر عمیق آن بر شکل‌گیری روحیه تحقیق و پژوهش در یک دانشجوی علاقه‌مند بیانات روشنگرایانه‌ای فرمودند که در مطلع این پیشگفتار به بخشی از آن‌ها اشاره کردم.

دفتر مرکزی انتشارات گوتنبرگ متأسفانه در اصل دانشگاه تهران در خیابان انقلاب است برخی اوقات که آن‌جا می‌رفتم افتخار ملاقات با رباب، یاد جناب آقای محمود کاشی‌چی بنیان‌گذار انتشارات گوتنبرگ نصیب می‌شد. هر چند خستگی ناشی از سال‌ها رنج و تلاش صادقانه در امر چاپ و نشر کتاب که تاریخ آن به بیش از هفت دهه می‌رسد، چهره‌ی استاد را کمی خسته نشان می‌داد ولی ایشان همواره با ادب، تواضع و چهره‌ای گشاده و سخاوتمند می‌گفتند و معمولاً ما را دعوت به صرف یک فنجان چای می‌کردند. اکنون که این کتاب به چاپ رسیده است این استاد عالی‌قدر در بین ما نیست و دعوت حق را لایک گفته‌اند بنده نیز متواضعانه به مقام شامخ ایشان ادای احترام می‌کنم و از خداوند رحمان برایشان آرزوی علو درجات و مغفرت الهی می‌نمایم، روحشان شاد و راهشان مستدام باد.

در پایان وظیفه‌ی خود می‌دانم از آقایان: محمد دستورانی، دکتر علی حقیقی اصل، دکتر عبدالمجید حلمی، دکتر غلامعباس شکاری، خسرو کرمی سرابی، محمدرضا ناظری و دوست بسیار عزیز محمد قاسم حافظی که به طور مستقیم و یا غیر مستقیم این حقیر را در طی فرایند تولید این اثر به نحوی یاری نموده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی کنم.

علیرضا وفایی

avm@hotmail.co.uk

۱۳۹۵/۷/۱

این کتاب به منظور فراهم نمودن اولین دوره از فیزیک نوین شامل نسبیت، مکانیک کوانتومی و کاربرد آن‌هاست. چنین درسی اغلب پس از گذراندن دوره‌ی مقدماتی فیزیک کلاسیک که مبتنی بر حساب دیفرانسیل و انتگرال است ارائه می‌شود. این درس دو مخاطب مختلف دارد: (۱) دانشجویان رشته فیزیک که بعدها درس جدی‌تر مکانیک کوانتومی را اخذ خواهند کرد و این دوره‌ی فیزیک نوین مقدماتی را بستری مفید برای درس‌هایی هم چون مکانیک کلاسیک، ترمودینامیک و الکترومغناطیس خواهند یافت (۲) دانشجویانی که رشته اصلی آن‌ها فیزیک نیست و پس از اخذ این درس هیچ واحد دیگری در فیزیک اخذ نخواهند کرد که این درس را یک نیاز روز افزون در زمینه‌ی کاری آن‌ها خواهد یافت. چرا که یک دوره‌ی مقدماتی فیزیک کلاسیک برای شیمیدان‌ها، دانشجویان رشته کامپیوتر و مهندسان برق و هسته‌ای و یا زیست‌شناسان مولکولی کافی نخواهد بود.

پیش‌نیاز لازم برای انتخاب این درس شامل حساب دیفرانسیل و انتگرال استاندارد است که مکانیک، الکترومغناطیس، فیزیک گرما و اپتیک را پوشش دهد. در این کتاب به‌طور گسترده از حساب دیفرانسیل و انتگرال استفاده شده است اما فرض شده است که دانشجو از معادلات دیفرانسیل، متغیرهای مختلط و مسوئله‌ی جزیی پیش‌زمینه‌ای ندارد (هر چند آشنایی با این مباحث را سودمند خواهد یافت).

فصل‌های ۱ تا ۸ به نوعی قلب کتاب است. این فصل‌ها نسبیت خاص، نسبیت عام، مکانیک کوانتومی را به واسطه ساختار اتمی پوشش می‌دهند. پس از آن خواننده می‌تواند مطالب فصل‌های ۹ تا ۱۱ (که شامل مولکول‌ها، آمار کوانتومی و جامدات است) و یا ۱۲ تا ۱۴ (که شامل پدیده‌ها و ذرات است) دنبال کند. فصل آخر کیهان‌شناسی را پوشش می‌دهد و می‌توان آن را نیز دنبال کرد. فیزیک نوین به حساب آورد که می‌تواند با مباحثی هم چون نسبیت (خاص و عام) و هم با فیزیک کلاسیک در ارتباط باشد. این کتاب در این مباحث وحدت بخش این کتاب مبنای تجربی فیزیک نوین است. آزمون‌های تجربی خصوصیات به‌دست آمده در سرتاسر کتاب مورد بحث واقع می‌شوند. این آزمون‌های تجربی شامل تازه‌ترین آزمون‌های نسبیت خاص و عام و همین‌طور مطالعه‌ی دوگانگی موج-ذره برای فوتون‌ها و ذرات مادی است. کاربرد پدیده‌های اساسی به‌طور گسترده‌ای نشان داده شده و داده‌های حاصل از نشریات علمی نه تنها برای توضیح این پدیده‌ها بلکه برای کسب بصیرت نسبت به عملکرد واقعی فیزیک به‌کار گرفته شده‌اند. دانشجویانی که از این کتاب درسی استفاده می‌کنند این فرصت را خواهند داشت تا مطالعه کنند چطور نتایج آزمایشگاهی و تحلیل مبتنی بر نظریه‌ی کوانتومی دست به دست می‌شوند تا درباره‌ی عناوین گوناگونی هم چون چگالش بوز-اینشتین، ظرفیت گرمایی جامدات، پارامغناطیس، تابش پس‌زمینه میکروموج کیهانی، طیف پرتوی X، مخلوط رقیق ${}^3\text{He}$ در ${}^4\text{He}$ و طیف‌سنجی مولکولی محیط میان ستاره‌ای روشنگری کنند.

ویراست سوم کتاب نسبت به ویراست قبل دستخوش تغییرات زیادی شده است. بیشتر فصل‌ها تا حد قابل توجهی یا حتی به‌طور کامل بازنویسی شده‌اند. عناوین جدیدی معرفی و سایر موارد بازآرایی شده‌اند. نتایج تجربی بیشتری ارائه شده و بر کشفیات جدید تاکید شده است.

که از آن جمله می‌توان به داده‌های پس‌زمینه‌ی میکروموج WMAP و چگالش بوز-اینشتین اشاره کرد. مجموعه مسائل آخر فصل براساس هر بخش طبقه‌بندی شده‌اند تا دانشجویان با عناوین آموزشی بهتر آشنا شود و در انتها مسائل کلی مطرح شده‌اند که برای حل آن‌ها دانشجویان باید مفاهیم و روش‌های گسترده‌ای را به کار گیرد. تعداد مثال‌های حل شده در فصل‌ها و تعداد پرسش‌ها و مسائل پایان فصل نسبت به ویراست قبل تقریباً ۱۵٪ افزایش یافته است. از آن‌جا که این ویراست هم شامل مسائل ساده‌تر است که حس اعتماد به نفس را ایجاد کند و هم شامل مسائل دشوارتر که دانشجویان را به چالش خواهد کشید لذا گستره‌ی توانایی‌های مورد نیاز برای حل مسائل توسعه یافته است. هر فصل شامل یک خلاصه‌ی کوتاه از نکات مهم است. برخی از مسائل پایان فصل با استفاده از برنامه‌ی Web Assign در آدرس www.webassign.com دسترس هستند.

تحول تازه‌ای که از زمان چاپ ویراست دوم تاکنون در امر آموزش فیزیک شاهد آن بوده‌ایم دسترسی به حجم گسترده‌ای از مقالات حاصل از تحقیقات آموزش فیزیک (PER) است. روش تدریس خود من تا حد زیادی تحت تأثیر یافته‌های PER بوده است و در گردآوری این ویراست جدید تلاش کرده‌ام تا حد امکان نتایج PER را وارد کنم. یکی از نکات اصلی برآمده از PER در یکی دو دهه‌ی اخیر این بوده است که دانشجویان اغلب می‌توانند الگوریتم موفقی برای حل مسائل بیاموزند هرچند در درک بنیادی مفاهیم پایه ضعیف داشته باشند. بدین منظور بسیاری از رهبران و مربیان مبتنی بر تمرین‌های مفهومی پیش از کلاس درس و فعالیت‌های انفرادی و گروهی داخل کلاس به دانشجویان کمک می‌کند در رویارویی با مسائلی که با عددگذاری در یک معادله قابل حل هستند موفق عمل کند. تخصیص بخشی از زمان کلاس به این تمرینات و پیگیری آن‌ها از طریق تالیفات امتحانی که نیازمند تحلیل مشابهی است که با استدلال مفهومی پیوند می‌خورد یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. جزئیات بیشتری که کاربرد PER را برای آموزش فیزیک نوین مدنظر دارد و در برگزیده‌ی منابع مقالات حاصل از نشریات PER است را می‌توان در وب‌گاه www.eikr.com/college/krane می‌توان یافت که ویژه‌ی اساتید است. راهنمای تدریس ویژه‌ی اساتید هم چنین در برگزیده‌ی مثال‌های مفهومی برای بحث در داخل کلاس یا امتحان است که با حمایت

a Course, Curriculum and Laboratory Improvement grant from the National Science Foundation.

توسعه یافته است.

بسیاری از افراد با مطالعه و ارائه‌ی نقطه نظرات خود در ارتقای این اثر نقش قابل توجهی داشته‌اند که بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از آن‌ها اعلام می‌دارم:

David Bannin, Oregon State University

Gerald Crawford, Fort Lewis College

Luther Frommhold, University of Texas-Austin

Gray Goldstein, Tufts University

Leon Gunther, Tufts University

Gary Ihas, University of Florida

Paul Lee, California State University, Northridge

Jeff Loats, Metropolitan State College of Denver

Jay Newman, Union College

Stephan Pate, New Mexico State University

David Roundy, Oregon State University

Rich Schelp, Erskine College

Weidian Shen, Eastern Michigan University

Hongtao Shi, Sonoma State University

Janet Tate, Oregon State University

Jeffrey L. Wragg, College of Charleston

Weldon Wilson, University of Central Oklahoma

بسیاری از دانشجویان نیز با ارائه ی پیشنهادات و رهنمودهایی سهم قابل توجهی در این پروژه داشتند که بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را از آنها اعلام می دارم. از حمایت The National Science Foundation به خاطر آماده سازی راهنمای ویژه اساتید و از تمامی کارکنان John Wiley & Sons نیز تشکر و قدردانی می کنم. در تحقیقات و فعالیت های حرفه ای خود، گاهی با فیزیکدان هایی مواجه می شوم که از ویراست های قبلی این کتاب بهتر بهره جسته اند. برخی از آنها اسلان می دارند اولین مواجهه ی آنها با فیزیک نوین بارقه ای بود که آنها را به مسیر فیزیکدان شدن رهنمون کرد. برای بسیاری از دانشجویان این واحد درسی برای اولین بار فرصتی فراهم می کند تا بدانند فیزیک آنها واقعاً چه می کنند و چه چیزی در حرفه ی آنهاست که این همه مهیج و چالش انگیز است. امیدوارم دانشجویانی که از این ویراست جدید استفاده می کنند هم، در مسیر یافتن این انعامت قرار گیرند.

Corvallis, Oregon

کرنک اس کرین

Kranek@physics.oregonstate.edu

آگوست ۲۰۰۱

فصل اول: نارسایی‌های فیزیک کلاسیک

۳	۱.۱ مروری بر فیزیک کلاسیک
۳	مکانیک
۶	جمع سرعت
۷	الکتریسیته و مغناطیس
۱۰	نظریه‌ی جنبشی ماده
۱۱	۲.۱ نارسایی مفاهیم کلاسیک فضا و زمان
۱۱	نارسایی مفهوم کلاسیک زمان
۱۲	نارسایی مفهوم کلاسیک فضا
۱۲	نارسایی مفهوم کلاسیک سرعت
۱۳	۳.۱ نارسایی نظریه کلاسیک آمار ذره‌ها
۱۳	توزیع انرژی‌های مولکولی
۱۶	مولکول‌های چند اتمی و همپاری انرژی
۱۷	ظرفیت‌های گرمایی یک گاز ایده‌آل
۲۰	۴.۱ نظریه، آزمایش، قانون
۲۱	خلاصه‌ی فصل
۲۱	پرسش‌ها
۲۲	مسائل

فصل دوم: نظریه‌ی نسبیت خاص

۲۶	۱.۲ نسبیت کلاسیکی
۲۹	۲.۲ آزمایش مایکلسون-مورلی
۳۱	۳.۲ اصول موضوعه‌ی اینشتین
۳۲	۴.۲ پیامدهای اصول موضوعه‌ی اینشتین
۳۲	نسبیت زمان
۳۳	نسبیت طول
۳۷	جمع‌زدن سرعت‌های نسبیتی
۳۸	اثر دوپلر نسبیتی
۴۰	۵.۲ تبدیل لورنتس
۴۱	انقباض طول

۴۲	تبدیل سرعت
۴۲	هم‌زمانی و هم‌زمان کردن ساعت‌ها
۴۴	۶.۲ پارادوکس دوقلوها
۴۶	نمودارهای فضا زمان
۴۷	۷.۲ دینامیک نسبیتی
۴۹	انرژی جنبشی نسبیتی
۵۰	انرژی کل نسبیتی و انرژی سکون
۵۳	۸.۲ قوانین پایستگی در واپاشی‌های نسبیتی و برخوردها
۵۶	۹.۲ آزمون‌های تجربی نسبیت خاص
۵۶	جهان شمولی تندی نور
۵۸	اتساع زمان
۵۹	اثر دوپلر
۶۰	تکانه‌ی نسبیتی و انرژی
۶۲	پارادوکس دوقلوها
۶۳	خلاصه‌ی فصل
۶۳	پرسش
۶۴	مسائل

فصل سوم: تعامل ذره‌گونه‌ی تابش الکترومغناطیسی ۶۹

۷۰	۱.۳ مرور امواج الکترومغناطیسی
۷۲	تداخل و پراش
۷۳	پراش بلوری پرتوهای X
۷۵	۲.۳ اثر فوتوالکتریک
۷۶	نظریه‌ی کلاسیک اثر فوتوالکتریک
۷۸	نظریه‌ی کوانتومی اثر فوتوالکتریک
۸۰	۳.۳ تابش گرمایی
۸۳	نظریه‌ی کلاسیک تابش گرمایی
۸۵	نظریه‌ی کوانتومی تابش گرمایی
۸۷	۴.۳ اثر کامپتون
۹۱	۵.۳ فرایندهای فوتونی دیگر
۹۱	برهم‌کنش فوتونها با اتم‌ها
۹۲	تابش ترمزی و تولید پرتو-X
۹۳	تولید و نابودی زوج
۹۴	۶.۳ فوتون چیست؟
۹۵	دوگانگی موج-ذره
۹۷	خلاصه‌ی فصل
۹۷	پرسش‌ها
۹۸	مسائل

فصل چهارم: خصوصیات موج‌گونه‌ی ذرات ۱۰۳

۱۰۴	۱.۴ فرضیه‌ی دوپرویی
۱۰۶	۲.۴ گواه تجربی برای امواج دوپرویی
۱۰۶	آزمایش‌های پراش ذره
۱۰۹	آزمایش‌های دو شکافی با ذرات
۱۱۱	ذره از میان کدام شکاف عبور می‌کند؟
۱۱۲	۳.۴ رابطه‌های عدم قطعیت برای امواج کلاسیکی
۱۱۴	رابطه‌ی عدم قطعیت بسامد - زمان
۱۱۵	۴.۴ رابطه‌های عدم قطعیت هایزنبرگ
۱۱۹	یک تعبیر آماری از عدم قطعیت
۱۲۱	۵.۴ بسته‌های موج
۱۲۵	۶.۴ حرکت یک بسته‌ی موج
۱۲۷	تندی گروه امواج دوپرویی
۱۲۷	پهن‌شدگی یک بسته موج با حرکت
۱۲۸	۷.۴ احتمال و کاتورگی
۱۲۹	دامنه‌ی احتمال
۱۳۰	خلاصه‌ی فصل
۱۳۰	پرسش‌ها
۱۳۲	مسائل

فصل پنجم: معادله‌ی شرودینگر ۱۳۷

۱۳۸	۱.۵ رفتار یک موج در یک مرز
۱۳۹	نفوذ موج بازتاب‌یافته
۱۴۰	پیوستگی در مرزها
۱۴۲	۲.۵ حبس یک ذره
۱۴۲	اعمال اصل عدم قطعیت برای یک ذره‌ی محبوس
۱۴۴	۳.۵ معادله‌ی شرودینگر
۱۴۶	احتمال‌ها و بهنجارش
۱۴۸	۴.۵ کاربردهای معادله‌ی شرودینگر
۱۴۸	جواب‌هایی برای انرژی پتانسیل ثابت
۱۴۸	ذره‌ی آزاد
۱۴۹	چاه انرژی پتانسیل بی‌نهایت
۱۵۴	چاه انرژی پتانسیل متناهی
۱۵۶	چاه انرژی پتانسیل نامتناهی دو بُعدی
۱۵۹	۵.۵ نوسان‌گر هماهنگ ساده
۱۶۲	۶.۵ پله‌ها و سدها
۱۶۲	پله‌ی انرژی پتانسیل، $E > U_0$
۱۶۴	پله‌ی انرژی پتانسیل، $E < U_0$

۱۶۶	سد انرژی پتانسیل
۱۶۹	خلاصه‌ی فصل
۱۷۰	پرسش‌ها
۱۷۰	مسائل

فصل ششم: مدل اتم رادرفورد بور ۱۷۵

۱۷۶	۱.۶ خصوصیات اساسی اتم‌ها
۱۷۷	۲.۶ آزمایش‌های پراکندگی و مدل تامسون
۱۷۹	پراکندگی در مدل تامسون (اختیاری)
۱۸۰	۳.۶ اتم هسته‌ای رادرفورد
۱۸۶	۴. طیف‌های خطی
۱۸۹	۵.۶ مدل بور
۱۹۱	طول موج‌های هیدروژن در مدل بور
۱۹۳	اتم‌های با $Z > 1$
۱۹۴	۶.۶ اثر پخش برانک هرتز
۱۹۵	۷.۶ اصل هم‌خوانی
۱۹۷	۸.۶ نارسایی‌های مدل بور
۱۹۹	خلاصه‌ی فصل
۱۹۹	پرسش‌ها
۲۰۰	مسائل

فصل هفتم: اتم هیدروژن در مکانیک موجی ۲۰۵

۲۰۶	۱.۷ اتم یک‌بعدی
۲۰۸	۲.۷ تکانه‌ی زاویه‌ای در اتم هیدروژن
۲۰۸	* تکانه‌ی زاویه‌ای مدارهای کلاسیکی
۲۰۹	تکانه‌ی زاویه‌ای در مکانیک کوانتومی
۲۱۰	رابطه‌ی عدم قطعیت تکانه‌ی زاویه‌ای
۲۱۱	۳.۷ توابع موج اتم هیدروژن
۲۱۲	اعداد کوانتومی و توابع موج
۲۱۴	چگالی‌های احتمال
۲۱۵	۴.۷ چگالی‌های احتمال شعاعی
۲۱۸	۵.۷ چگالی‌های احتمال زاویه‌ای
۲۱۹	۶.۷ اسپین ذاتی
۲۱۹	گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی مداری
۲۲۰	یک دو قطبی در یک میدان خارجی
۲۲۱	آزمایش اشترن - گرلاخ
۲۲۴	۷.۷ ترازهای انرژی و نمادگذاری طیفی

۲۲۵	۸.۷ اثر زیمان
۲۲۷	۹.۷ ساختار ریز
۲۲۹	خلاصه‌ی فصل
۲۳۰	پرسش‌ها
۲۳۰	مسائل

فصل هشتم: اتم‌های چند الکترونی

۲۳۴	۱.۸ اصل طرد پاولی
۲۳۶	۲.۸ حالت‌های الکترونی در اتم‌های چند الکترونی
۲۳۷	جدول تناوبی
۲۴۰	۳.۸ الکترون‌های بیرونی: استار و گذارهای اپتیکی
۲۴۲	گذارهای اپتیکی
۲۴۴	۴.۸ خصوصیات عناصر
۲۴۶	گازهای بی‌اثر
۲۴۶	عناصر زیر پوسته‌ی s
۲۴۷	عناصر زیر پوسته‌ی s
۲۴۷	فلزات واسطه
۲۴۸	لاتانیدها (خاک‌های کمیاب)
۲۴۸	اکتی‌نایدها
۲۴۸	۵.۸ الکترون‌های درونی: لبه‌های جذب و پرتوهای X
۲۵۰	گذارهای پرتوی X
۲۵۱	قانون موزلی
۲۵۲	۶.۸ جمع تکانه‌های زاویه‌ای
۲۵۶	۷.۸ لیزرها
۲۵۶	خلاصه‌ی فصل
۲۵۶	پرسش‌ها
۲۶۱	مسائل

فصل نهم: ساختار مولکولی

۲۶۶	۱.۹ مولکول هیدروژن
۲۶۸	انرژی بستگی H_2^+
۲۶۹	مولکول H_2
۲۷۰	۲.۹ پیوند کووالانسی در مولکول‌ها
۲۷۲	پیوندهای کووالانسی pp
۲۷۴	پیوندهای مولکولی sp
۲۷۵	حالت‌های هیبریدی sp
۲۷۹	۳.۹ پیوند یونی
۲۸۳	۴.۹ ارتعاشات مولکولی

۲۸۳	ارتعاشات در مکانیک کوانتومی
۲۸۴	مولکول‌های دو اتمی ارتعاشی
۲۸۶	۵.۹ دوران‌های مولکولی
۲۸۶	دوران‌ها در مکانیک کوانتومی
۲۸۷	مولکول‌های دو اتمی دورانی
۲۸۹	۶.۹ طیف مولکولی
۲۹۳	خلاصه‌ی فصل
۲۹۴	پرسش‌ها
۲۹۴	مسائل

فصل دهم: فیزیک آماری ۲۹۹

۳۰۰	۱.۰ تحلیل آماری
۳۰۲	۲.۱۰ آمارهای کلاسیک و کوانتومی
۳۰۶	۳.۱۰ چگالی حالت‌ها
۳۰۸	چگالی حالت‌ها در یک گاز از ذرات
۳۰۹	چگالی حالت‌ها در یک گاز از فوتون‌ها
۳۱۱	۴.۱۰ توزیع ماکسول-بولتزمن
۳۱۳	توزیع تندهای مولی
۳۱۴	پهن‌شدگی دوپلری ستاره‌ای
۳۱۶	۵.۱۰ آمار کوانتومی
۳۱۸	حد آمار کلاسیک
۳۱۹	۶.۱۰ کاربردهای آمار بوز-اینشتین
۳۱۹	تابش گرمایی
۳۲۰	هلیوم مایع
۳۲۱	چگالی بوز-اینشتین
۳۲۴	۷.۱۰ کاربردهای آمار فرمی-دیراک
۳۲۴	مدل الکترون آزاد فلزات
۳۲۶	ستاره‌های کوتوله‌ی سفید
۳۲۷	ظرفیت گرمایی محلول‌های رقیق ${}^3\text{He}$ در ${}^4\text{He}$
۳۳۰	خلاصه‌ی فصل
۳۳۰	پرسش‌ها
۳۳۱	مسائل

فصل یازدهم: فیزیک حالت جامد ۳۳۵

۳۳۶	۱.۱۱ ساختار بلوری
۳۳۷	جامدات یونی
۳۴۰	جامدهای کووالانسی
۳۴۱	پیوندهای فلزی

۳۴۲	جامدهای مولکولی
۳۴۴	۲.۱۱ ظرفیت گرمایی جامدات
۳۴۵	نظریه‌ی اینشتین برای ظرفیت گرمایی
۳۴۸	۳.۱۱ الکترون‌ها در فلزات
۳۴۹	رسانش الکتریکی
۳۵۰	نظریه‌ی کوانتومی رسانش الکتریکی
۳۵۲	۴.۱۱ نظریه‌ی نواری جامدات
۳۵۵	توجیه نظریه‌ی نواری
۳۵۶	۵.۱۱ ابر رسانایی
۳۵۹	اثر Josephson
۳۶۰	۶.۱۱ نیمه رساناهای ذاتی و ناخالصی
۳۶۳	۷.۱۱ قطعات نیمه رسانا
۳۶۳	پیوندگاه $p-n$
۳۶۶	دیود تونل
۳۶۶	فوتودیودها
۳۶۷	۸.۱۱ مواد مغناطیسی
۳۶۸	پارامغناطیس گاز الکترونی
۳۷۰	پارا مغناطیسی اتم‌ها و یون‌ها
۳۷۳	فرومغناطیس
۳۷۴	خلاصه‌ی فصل
۳۷۵	پرسش‌ها
۳۷۵	مسائل

فصل دوازدهم: ساختار هسته‌ای و پرتوزایی ۳۷۹

۳۸۰	۱.۱۲ اجزای هسته‌ای
۳۸۲	۲.۱۲ اندازه‌ها و شکل‌های هسته‌ای
۳۸۴	۳.۱۲ جرم‌های هسته‌ای و انرژی‌های بستگی
۳۸۷	انرژی‌های جداسازی پروتون و نوترون
۳۸۸	۴.۱۲ نیروی هسته‌ای
۳۹۰	۵.۱۲ حالت‌های کوانتومی در هسته‌ها
۳۹۱	حالت‌های کوانتومی و واپاشی پرتوزا
۳۹۲	۶.۱۲ واپاشی پرتوزا
۳۹۶	قوانین پایستگی در واپاشی‌های پرتوزا
۳۹۷	۷.۱۲ واپاشی آلفا
۳۹۹	نظریه‌ی کوانتومی واپاشی آلفا
۴۰۰	۸.۱۲ واپاشی بتا
۴۰۴	۹.۱۲ واپاشی گاما و حالت‌های برانگیخته‌ی هسته‌ای
۴۰۵	حالت‌های برانگیخته‌ی هسته‌ای

۴۰۶	تشدید هسته‌ای
۴۰۸	۱۰.۱۲ پرتوزایی طبیعی
۴۱۲	خلاصه‌ی فصل
۴۱۲	پرسش‌ها
۴۱۳	مسائل

فصل سیزدهم: واکنش‌های هسته‌ای و کاربردها ۴۱۷

۴۱۸	۱.۱۳ انواع واکنش‌های هسته‌ای
۴۲۱	سطح مقطع واکنش
۴۲۲	۲.۱۳ تولید رادیو ایزوتوپ در واکنش‌های هسته‌ای
۴۲۴	۳.۱۳ سینماتیک واکنش با انرژی پایین
۴۲۶	۴.۳ شکافت
۴۲۷	انرژی آزادشده در شکافت
۴۲۸	شکافت القایی
۴۲۹	فران التریس حاصل از شکافت
۴۳۱	راکتورها: شکافت
۴۳۲	یک راکتور شکافت ایستایی
۴۳۳	۵.۱۳ هم‌جوشی
۴۳۳	فرآیندهای هم‌جوشی در ستاره‌ها
۴۳۵	راکتورهای هم‌جوشی
۴۳۸	۶.۱۳ سنتز هسته‌ای
۴۴۲	۷.۱۳ کاربردهای فیزیک هسته‌ای
۴۴۲	تحلیل فعال‌سازی نوترونی
۴۴۳	فیزیک تابش در پزشکی
۴۴۴	کاربردهای پراکندگی آلفا
۴۴۵	عناصر آبر سنگین
۴۴۷	خلاصه‌ی فصل
۴۴۷	پرسش‌ها
۴۴۸	مسائل

فصل چهاردهم: ذرات بنیادی ۴۵۳

۴۵۴	۱.۱۴ چهار نیروی اصلی
۴۵۶	۲.۱۴ طبقه‌بندی ذرات
۴۵۷	پاد ذرات
۴۵۸	سه خانواده از ذرات
۴۶۰	۳.۱۴ قوانین پایستگی
۴۶۱	پایستگی عدد لپتونی
۴۶۲	پایستگی عدد باریونی

۴۶۳	پایستگی شگفتی
۴۶۵	۴.۱۴ واپاشی‌ها و برهم‌کنش‌های ذره
۴۶۶	آشکارسازی ذرات
۴۷۰	۵.۱۴ انرژی و تکانه در واپاشی‌های ذره
۴۷۲	۶.۱۴ انرژی و تکانه در واکنش‌های ذره‌ای
۴۷۳	انرژی آستانه
۴۷۶	۷.۱۴ ساختار کواریکی مزون‌ها و باریون‌ها
۴۸۰	کواریونیوم
۴۸۲	۸.۱۴ مدل استاندارد
۴۸۶	خلاصه‌ی فصل
۴۸۶	پرسش‌ها
۴۸۷	مسائل

فصل پانزدهم: کیهان‌شناسی: مبدا و سرنوشت جهان ۴۹۱

۴۹۲	۱.۱۵ انبساط عالم
۴۹۳	قانون هابل
۴۹۶	۲.۱۵ تابش پس‌زمینه‌ی میکروموج کیهانی
۴۹۸	۳.۱۵ ماده‌ی تاریک
۵۰۰	۴.۱۵ نظریه‌ی نسبیت عام
۵۰۴	فضا و زمان در نسبیت عام
۵۰۷	۵.۱۵ آزمون‌های نسبیت عام
۵۰۷	انحراف نور ستاره
۵۰۸	تأخیر پژواک‌های رادار
۵۰۸	حرکت تقدیمی حضیض عطارد
۵۰۹	تابش گرانشی
۵۱۰	۶.۱۵ تکامل سیاره‌ای و سیاه‌چاله‌ها
۵۱۲	تپ اختر مزدوج
۵۱۳	سیاه‌چاله‌ها
۵۱۵	۷.۱۵ کیهان‌شناسی و نسبیت عام
۵۱۷	۸.۱۵ کیهان‌شناسی مهبانگ
۵۲۰	۹.۱۵ تشکیل هسته‌ها و اتم‌ها
۵۲۳	۱۰.۱۵ کیهان‌شناسی تجربی
۵۲۴	ماده و پاد ماده
۵۲۴	فراوانی هلیوم
۵۲۵	مسأله‌ی افق
۵۲۶	مسأله‌ی تخت بودن
۵۲۷	ترکیب و سن جهان
۵۲۸	خلاصه‌ی فصل

۵۲۸	پرسش‌ها
۵۲۹	مسائل

۵۳۳	پیوست الف. ثابت‌ها و ضرایب تبدیل
۵۳۵	پیوست ب. اعداد مختلط
۵۳۷	پیوست پ. جدول تناوبی عناصر
۵۳۹	پیوست ت. جدول جرم‌های اتمی
۵۴۹	پاسخ مسائل فرد
۵۵۳	رویدادهای مهم در تاریخ فیزیک نوین
۵۵۵	اعتبار نامه تصاویر
۵۵۷	نمایه

www.ketab.ir