

ویراست یازدهم

همان نسخه‌ی چاپی ویراست دهم

بر اساس آخرین تصحیحات نویسنده

دیوید هالیدی . رابرت رزنیک . پرل واکر

مبانی فیزیک

جلد سوم

فیزیک عمومی ۳

(شاره‌ها، حرارت و ترمودینامیک، امواج، نور هندسی و نور موجی)

فیزیک عمومی ۴

(فیزیک جدید و مکانیک کوانتومی، فیزیک اتمی، فیزیک هسته‌ای و ذرات بنیادی)

محمد رضا خوش بین خوش نظر

نیاز دانش

فیزیک هالیدی: ویراست‌های پیشین

برای بسیاری از هم‌نسلان من کتابی که به نام "فیزیک هالیدی" مشهور شده است اندکی جنبه نوستالژیک دارد. من هنوز از بو کشیدن کتاب هالیدی خود، خاطرات جوانی‌ام را جستجو می‌کنم. احتمالاً بخش‌هایی از این کتاب، بخصوص برای دانشجویان رشته‌های مهندسی که آن را پس از سال اول به بایگانی می‌سپارند، خاطره‌هایی را تداعی می‌کند، چیزی مثل داستان ریزعلی خواجه‌ای، که هنوز از کتاب‌های دوره ابتدایی خود به خاطر داریم. من به جنبه‌ی نوستالژیک این کتاب بیش از این نخواهم پرداخت و شاید در جایی دیگر بیشتر به آن بپردازم، خصوصاً از آن‌رو که بعدها خودم این کتاب را درس دادم و نوستالژی آن را از جنبه‌ای دیگر حس کردم.

در هر حال، آنچه که کتاب "هالیدی" خواننده می‌شد عملاً کتابی تحت عنوان فیزیک بود که دیوید هالیدی و رابرت رزنیگ آن را نوشته بودند. ساختار این کتاب انسجام خوبی داشت و عملاً یک کتاب درسی به تمام معنا بود. در همان زمان کتاب دیگری تحت عنوان مبانی فیزیک توسط همین دو نویسنده نوشته شده بود که تا آنجا که به خاطر دارم از سطح پایین‌تری برخوردار بود و اصولاً نمی‌شد نام آن را یک کتاب درسی گذاشت. در اواخر دهه‌ی ۸۰ میلادی، و با پا به سن گذاشتن هالیدی و رزنیگ، دو نفر ادامه‌ی این دو کتاب را پی گرفتند، کنت کرین به تکمیل کتاب "فیزیک" پرداخت^۱ و یرل واکر تکمیل کتاب "مبانی فیزیک" را بر عهده گرفت.

تفاوت ماهوی اندیشه‌های این دو به‌زودی نمود پیدا کرد. کنت کرین همچنان در دوران پیشین مانده بود و یرل واکر با دمیدن روح جذاب فیزیک، به کتاب سر و شکلی تازه می‌داد. به‌زودی کتابی که ویرایش‌های اولیه‌ی آن اصولاً هیچ محلی از اعراب نداشت سر برآورد و جای خود را در دانشکده‌های فیزیک باز کرد. حالا این کتاب مبانی فیزیک بود که کتاب درسی اکثر دانشگاه‌های جهان محسوب می‌شد. اگر به مقاله‌های بین‌المللی در مجله‌های آموزش فیزیک رجوع کنید درمی‌یابید که جملگی کتاب مبانی فیزیک را به عنوان "هالیدی" در نظر گرفته‌اند. کنت کرین با دیدگاه محافظه‌کارانه‌ی خود و حفظ همان چارچوب‌های اولیه نتوانست رضایت مخاطبان خود را حفظ کند. البته مبانی فیزیک ضعیف‌هایی هم داشت [البته در ویراست‌های متأخر تا حدودی برطرف شده] که به‌خصوص برای ما اینجایی‌ها که شیفته‌ی مسائل دشوار و پیچیده هستیم بیشتر جلوه می‌کرد. مسأله‌های آن به جاننداری مسأله‌های کتاب فیزیک نبود و همین شد که دانشگاه‌های برتری چون دانشگاه صنعتی شریف، دیرتر تصمیم به تدریس از روی این کتاب گرفتند. من برای رفع مشکل سطح مسئله‌ها، مسائل خوبی را تحت عنوان "مسئله‌های خوب دیگر" به کتاب راهنمای حل مسئله‌ها افزودم و در مورد ضعیف‌های دیگر هم باید دانست که هیچ کتابی کامل نیست و من خود در حین تدریس، "چاله چوله‌های" مبانی فیزیک را با کتاب‌های دیگر می‌پوشاندم، ولی سیر منطقی و ترتیب توالی پداگوژیک مطالب هیچ کتابی به پای مبانی فیزیک نمی‌رسد، البته اگر از کتاب مهجور فیزیک نوشته‌ی یوجین هشت^۲ بگذریم که واقعاً در بین کتاب‌های فیزیک پایه کم‌نظیر است.

در ویراست نهم مبانی فیزیک از ناشر معروف و بین‌المللی جان - وایلی خطایی بزرگ سر زد که از ناشری در این حد و اندازه و اعتبار واقعاً بعید بود. دو نسخه از ویراست نهم مبانی فیزیک چاپ شد. یکی تحت عنوان همیشگی *Fundamentals of Physics* و دیگری تحت عنوان جدید *Principles of Physics*. بلافاصله با واکر، که منت گذاشته بود و در مقدمه ویراست نهم (همچون ویراست دهم) از من تشکر کرده بود، تماس گرفتم و جوابی ماجرا شدم. جالب این بود که او هیچ اطلاعی نداشت و اظهار تعجب می‌کرد. بعد از مدتی با من تماس گرفت و گفت ویراستارم گفته است که کتاب در سایر کشورهای جهان به جز ایالات متحده به نام *Principles* چاپ شده، ولی این دو کتاب تفاوتی با هم ندارند. در هر حال، کتاب *Principles* از جان - وایلی به دستم

¹ Robert Resnick, David Halliday & Kenneth S. Krane, Physics.

² Physics Algebra/Trig by Eugen Hecht

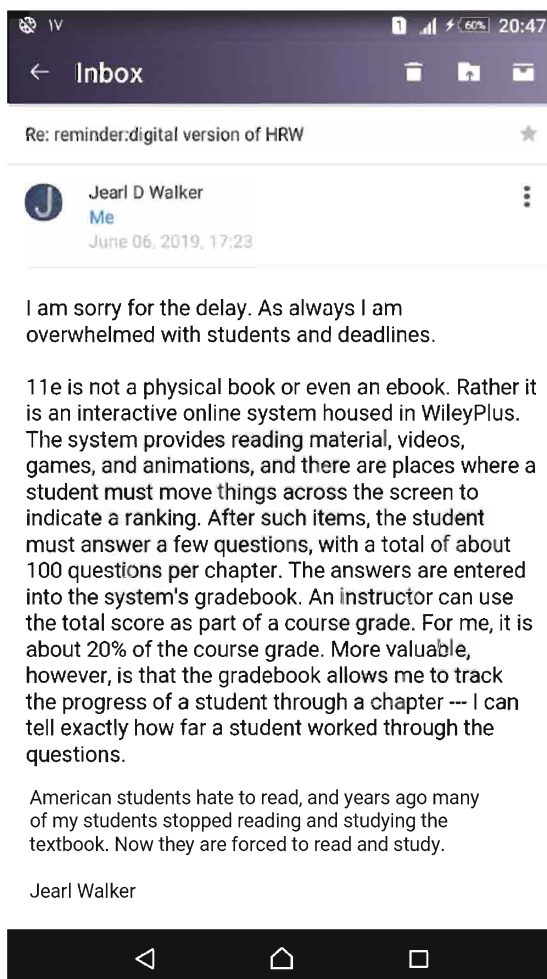
رسید و شروع به واریسی مسأله‌های آن کردم. حدود ۵۰٪ مسئله‌ها دچار تغییرات کمی نسبت به ویرایش قبلی شده بود که بسیاری از آن‌ها به جواب‌های زمختی می‌انجامید، پاره‌ای اصلاً جواب نمی‌داد (مثلاً زیر رادیکال منفی می‌شد!) و بعضی دیگر به جوابی می‌رسید که در مغایرت با پاسخی بود که در آخر کتاب داده شده بود. باز مجبور شدم با واکر تماس بگیرم و باز از او انکار و از من اصرار. می‌گفت ما مسأله‌ها را بارها و بارها واریسی کرده‌ایم و چنین چیزی ممکن نیست. ولی من به او اطمینان دادم که واقعیت همین است که می‌گویم. بالاخره راضی شد. به او گفتم کتاب *Principles* را تهیه کند نه کتاب *Fundamental* را که در ایالات متحده تدریس می‌شود. مجدداً با من تماس گرفت و حرفم را تأیید کرد. کاشف به عمل آمد که یکی در *جان - وایلی* بدون اجازه‌ی نویسنده در صورت مسأله‌های کتاب دست برده است و همین منجر به آن فاجعه شده است. بلافاصله غلطنامه‌ای به پایگاه اینترنتی مدرسان کتاب افزوده شد. البته ویراست دهم نیز خالی از اشکال نبود که البته پاره‌ای از آنها را به واکر گوشزد کردم که همگی مورد تأیید او قرار گرفت (شاید نامه‌های ما درباره‌ی این ویراست به بیش از ۴۰ نامه سر بزنند). این واریسی همچنان ادامه یافت و مثلاً بحث پدیده‌های مبحث ماشین کارنوی کتاب داشتیم که به تغییراتی در متن کتاب انجامید. تا آنجا که توانسته‌ام اصلاحات تأیید شده را در ترجمه‌ی ویراست دهم اعمال کردم.

اما در مورد ترجمه‌ی این کتاب، باید اعتراف کنم بعد از سال‌های زیادی که ویراست‌های مختلف مبانی فیزیک را ترجمه کرده‌ام، پس از آنکه دریافتم ویراست دهم به یقین آخرین ویراست چاپی مبانی فیزیک خواهد بود، کتاب را خط به خط بازخوانی کردم. ویراست دهم بیشترین تغییر را نسبت به ویراست‌های قبلی داشته است و در چند فصل بازنویسی شده است. خودم هم در حین بازخوانی متوجه خطاهایی در کارهای پیشین خود شدم و از آنجا که درگیر تألیف کتاب‌های فیزیک دبیرستان بودم اندیشیدم برخی از معادله‌ها را به همان واژه‌هایی برگردانم که در کتاب‌های فیزیک دبیرستان آمده است، ضمن اینکه در این سال‌ها توصیه‌هایی نیز جهت ترجمه‌ی صحیح‌تر برخی عبارات به دستم رسیده بود که همه را اعمال کردم. در تقسیم‌بندی کتاب نیز، دو فصل به جلد اول کتاب افزودم، چراکه ترمودینامیک در ارتباط تنگاتنگی با شاره‌هاست و نوسان نیز جزو مکانیک محسوب می‌شود و دانستم که در برخی دانشگاه‌ها - به‌درستی - همچنان نوسان را در فیزیک عمومی ۱ تدریس می‌کنند. جلد دوم همچنان در ۱۳ فصل خواهد آمد چراکه سرفصل‌های فیزیک عمومی ۲ همین ۱۳ فصل را شامل می‌شود. اما در جلد سوم، افزون بر فصل‌های باقی‌مانده، فصل‌های ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ را که پیشتر در جلد اول آمده بود افزودم تا این مجلد، مرجعی یگانه برای تدریس دروس فیزیک عمومی ۳ و فیزیک عمومی ۴ رشته‌های فیزیک، منطبق بر سرفصل‌های ارائه شده از سوی وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری گردد. همچنین با توجه به اینکه مخاطبان این کتاب به سایت *WileyPLUS* دسترسی ندارند، ناشرم در صدد است محیط جامعی بر اساس سایت مدرسان *Wiley* برای کتاب تهیه کند که البته کلیه فصول کتاب را شامل می‌شود و توصیه می‌شود هر گاه این محیط مهیا شد، دانشجویان برای درک جامع کتاب سری به آن هم بزنند، بخصوص که آزمون‌های تعاملی نیز در آن تدارک دیده شده است.

فیزیک هالیدی: ویراست دهم یا یازدهم؛ مسئله این است

واکر به من اطمینان داده بود که ویراست دهم، آخرین ویراست چاپی کتاب خواهد بود، به طوری که من با اطمینان در مقدمه‌ی خود بر ویراست دهم به این موضوع اشاره کردم. ولی در ۲۴ جولای سال ۲۰۱۵، نطفه‌ی کتاب دیگری بسته شد که چیزی سوی آن نسخه‌ی چاپی بود. واکر در ۲۵ جولای ۲۰۱۵ از کتابی با من سخن گفت که روز قبلش قرارداد آن را با جان وایلی بسته بود. او برایم نوشت که دانشجویان آمریکایی دیگر رغبتی به خواندن کتاب‌های چاپی ندارند و او در پی نگارش کتابی مبتنی بر *WileyPLUS* است که بر روی گوشی‌های هوشمند و آی‌پد نیز قابل خواندن باشد - کتابی که البته یک *e-book* نخواهد بود، چرا که برای سال‌ها کتاب مبانی فیزیک به صورت *e-book* در دسترس بوده است. او در پایان نامه خاطرنشان کرد که ویراست دهم مبانی فیزیک برای همیشه برقرار خواهد بود، و آنچه او در پی آن است نوع دیجیتالی خاصی از این ویراست است که عملاً برای دانشجویان آمریکایی و مدرسانی که قابلیت دسترسی به *WileyPLUS* را دارند، قابل استفاده خواهد بود.

با این اوصاف، در نمایشگاه بین‌المللی کتاب سال ۱۳۹۸ از گوشه و کنار شنیدم که ویراست یازدهم کتاب مبانی فیزیک چاپ شده است و برایم عجیب بود که واکر چنین خطبی را انجام داده است. با او تماس گرفتم و قولش را یادآور شدم. او در پاسخ گفت این کتاب که نام ویراست یازدهم را گرفته است، همان نسخه دیجیتالی تعاملی مبتنی بر *WileyPLUS* است که چهار سال پیش وعده‌ی آن را داده بود و عملاً نسخه‌ی چاپی کتاب همان ویراست دهم است - البته با اصلاحاتی که من پیشتر در ویراست دهم انتشارات نیاز دانش به انجام رسانیده بودم؛ چرا که در این مدت من به‌عنوان یکی از اعضای تیم مرورگران ویراست دهم نظرات اصلاحی خود را برای او ارسال و تمامی موارد مورد تأیید او را در ترجمه‌ی کتاب اعمال کرده بودم. از همین رو است که اکنون در این نسخه‌ی تعاملی نیز از نگارنده به عنوان یکی از اعضای تیم مرورگران صاحب‌نظر تشکر شده است.



تصویر یکی از نامه‌های واکر

با این حال، فضای منحنی بازار که اطلاعاتی از این مباحث نداشت، در بوق و کرنا کردند که ویراست یازدهم مبانی فیزیک چاپ شده است و عده‌ای از همه‌جا بی‌خبر نیز در پی ویراست یازدهم گشتند که همین باعث شد برخی با سوء استفاده از این موضوع و صرفاً با تغییر واژه‌ی ویراست ۱۰ به ویراست ۱۱، آن کتاب قدیمی را - که تازه همان هم دقیقاً محتوای ویراست دهم را نداشت - به‌عنوان ویراست ۱۱ به خلاق‌الله غالب کنند. ناشر محترم بنده نیز در این میانه مانده بود چه‌کار کند. اگر می‌خواست مانند آن‌ها کتاب خود را ویراست ۱۱ بنامد، او نیز به جمع نااهلان می‌پیوست و اگر می‌خواست درست و منطقی عمل کند، باید کتاب را با نام اصلی ویراست ۱۰ به چاپ می‌رساند و در این صورت آن عده‌ی از همه‌جا بی‌خبر سراغ آخرین ویراست را می‌گرفتند و به این ترتیب کتاب او زمین می‌خورد. چاره چه بود؟ چاره را آن دیدیم که راه میانه را پیش گیریم و در عین حال واقعیت را هم بگوییم. جلد کتاب را مطابق جلد جدید نسخه‌ی انگلیسی تغییر دادیم. جالب آنکه روی جلد جدید نوشته شده است «این همان نسخه‌ی است که پیشتر به عنوان ویراست دهم فروخته می‌شد» همچنین بخشی از مقدمه‌ی ویراست یازدهم را نیز در پی این مقدمه آوردیم که در آن به‌وضوح اشاره شده است که تنها تفاوت نسخه‌ی چاپی ویراست جدید با ویراست دهم، همین مقدمه‌ای است که بر آن نوشته شده است؛ مقدمه‌ای که البته خواندن بخش آغازین آن خالی از لطف نیست. با این اوصاف، به مصداق آنکه گفته‌اند «عدو شود سبب خیر، اگر خدا خواهد» بر آن شدم از فرصت استفاده کنم و در آنچه اکنون ترجمه ویراست یازدهم خوانده می‌شود، چند ایراد جزئی در ترجمه ویراست دهم را اصلاح کنم - ایراداتی که در غیر این صورت سخت می‌توانستم ناشر محترم را به اصلاح آن‌ها ترغیب کنم.

ظاهراً پس از شارون که واکر را به نگاشتن کتاب *نمایش هیجان انگیز فیزیک* واداشت، اکنون دانشجوی دختر دیگری به نام ریچل او را به طراحی این واحد آموزشی واداشته است. من خیلی در پی شارون گشتم، ولی او را نیافتم. ولی خوشبختانه این بار ریچل را در کنار واکر می‌یابم و دیگر دلیلی برای جستن او نمی‌بینم. همچنین به‌گمانم واکر در این مقدمه اندکی مبادی آداب بوده و نخواست است حرف دلش را که چند بار به من زده بود، بازگو کند و آن اینکه دانشجویان امروز آمریکایی برخلاف اسلافشان تمایلی به خواندن ندارند و او با طراحی این واحد یادگیری به‌دنبال آن بوده است که شاید دانشجویانی مثل ریچل را ترغیب به آموختن کند - طرحی که او از آن به عنوان فیزیک برای ریچل یاد می‌کند. شاید یک بهره از این مقدمه آن باشد که مدرسان ما را نیز ترغیب به طراحی واحدهای آموزشی مشابهی برای دانشجویان خود کند.

تهران - محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

مقدمه

ویراست یازدهم

چگونه از ویراست یازدهم مبانی فیزیک استفاده کنیم

این ویراست یازدهم از دوره‌ی درسی *WileyPLUS* برای مبانی فیزیک است. باید توجه داشته باشید بخش چاپی کتاب، شماره‌ی ویراست ندارد. این به آن دلیل است که ما در حالی که به‌طور کامل دوره‌ی درسی *WileyPLUS* برای ویراست ۱۱ را بازنگری کرده‌ایم، ولی هیچ تغییری در متن چاپی، به جز در این مقدمه انجام نداده‌ایم. امید آن است که دانشجویان از ویراست ۱۱ مبانی فیزیک در *WileyPLUS* به‌عنوان یگانه منبع درسی خود استفاده کنند. ولی اگر آنها نیاز به یک کتاب چاپی دارند، ویراستی که پیشتر به عنوان ویراست ۱۰ فروخته می‌شد، همچنان در دسترس است.

نامه‌ای از نویسنده

فیزیک برای ریچل

ویراست یازدهم مبانی فیزیک یک واحد درسی یادگیری برخط، تعاملی، و دیجیتال مبتنی بر *WileyPLUS* است. عنوان فیزیک برای ریچل را از آنرو برای این بخش برگزیدم که من طراحی این واحد یادگیری را هنگامی آغاز کردم که ریچل کاترینا دانشجوی کلاس فیزیک ترم اولم بود.



یرل واکر و ریچل کاترینا

در چند هفته‌ی اول، ریچل به اتاق کارم می‌آمد تا او را در یادگیری درس یاری کنم. بزودی دریافتم که گرچه بسیار مشتاق است که موفق شود، ولی با خواندن کتاب درسی به حد کافی نمی‌آموزد و از کلاس‌های من آنقدر فرا نمی‌گیرد که بتواند از پس تکالیف خانه برآید و یا خود را برای آزمون‌ها آماده کند. بنابراین، ما در ادامه‌ی ترم هر هفته یک جلسه‌ی دوساعته‌ی گذاشتیم تا در مورد فیزیک با هم بحث کنیم. من قدری از یک مبحث فیزیک را توضیح می‌دادم و سپس پرسش‌هایی هدفمند را از او می‌پرسیدم. او پاسخ می‌داد. اگر پاسخش نادرست بود، به او پاسخ درست و دلیل آن را می‌گفتم. به جای آموزش غیرفعال در کتاب‌های درسی یا شنیدن غیرفعال به نطق استاد، ما یک مبادله‌ی تعاملی از پرسش و پاسخ داشتیم. *انفعال* جایش را به *تعامل* داده بود. او فیزیک می‌آموخت و من درمی‌یافتم یک دانشجوی معاصر چگونه می‌اندیشد.

در پایان ترم، ایده‌ی تبدیل ویراست دهم *مبانی فیزیک* به یک «کتاب» *برخط*، دیجیتال، و تعاملی را با ناشرم، *جان وایلی و پسران* در میان گذاشتم. اکنون ما با هم آن کتاب قدیمی مملو از هزاران جمله‌ی توضیحی را به گفتمانی از نوع *ریچلی* آن تبدیل کرده‌ایم. در هر بخش از یک فصل، من نخست قدری از یک مبحث فیزیکی را توضیح می‌دهم و سپس چند پرسش هدفمند مطرح می‌کنم. اگر پاسخ دانشجو نادرست باشد، سپس پاسخ درست و دلیل آن را بیان می‌کنم. به این ترتیب، من دانشجو را در سرتاسر فصل هدایت و راهنمایی می‌کنم. این کتاب اکنون بیشتر از یک کتاب صرف است. این کتاب اکنون بخشی از یک واحد یادگیری شامل اطلاعات، چالش‌های تعاملی، بازی‌های فعال (که می‌تواند فعالیت‌های گروهی باشد)، و محیط نهفته^۱ است.

واقعیت این است که امروزه بسیاری از دانشجویانی که درس فیزیک پایه را می‌گیرند شبیه *ریچل* هستند و نیاز به راهنمایی‌ها و تعامل‌های فراوانی دارند. گرچه من شخصاً نمی‌توانم، مانند آنچه برای *ریچل* انجام دادم، برای تمام دانشجویان در دسترس باشم، اما این مرجع دیجیتال و تعاملی ۲۴ ساعت روز، در ۷ روز هفته در دسترس است.

¹ Embedded medium

سرفصل‌های ارائه شده از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
مربوط به دروس فیزیک عمومی ۳ و فیزیک عمومی ۴

فیزیک عمومی ۴

۱۰۷

عنوان درس		فارسی	فیزیک عمومی ۴	
		انگلیسی	General Physics 4	
دروس پیش‌نیاز	تعداد واحد عملی	تعداد واحد نظری	نوع واحد	
			اختیاری	الزامی
فیزیک عمومی ۲	۰	۳	عملی	نظری
			آموزش تکمیلی عملی: دارد □ ندارد ■	
			سفر عملی: دارد □ ندارد ■	
			کارگاه: دارد □ ندارد ■	
			ارزایشگاه: دارد □ ندارد ■	
			سمینار: دارد □ ندارد ■	
			حل تمرین: در ساعت در هفته الزامی است.	

فیزیک عمومی ۳

۱۰۶

عنوان درس		فارسی	فیزیک عمومی ۳	
		انگلیسی	General Physics 3	
دروس پیش‌نیاز	تعداد واحد عملی	تعداد واحد نظری	نوع واحد	
			اختیاری	الزامی
فیزیک عمومی ۱	۰	۲	عملی	نظری
			آموزش تکمیلی عملی: دارد □ ندارد ■	
			سفر عملی: دارد □ ندارد ■	
			کارگاه: دارد □ ندارد ■	
			ارزایشگاه: دارد □ ندارد ■	
			سمینار: دارد □ ندارد ■	
			حل تمرین: در ساعت در هفته الزامی است.	



هدف درس:

آشنایی با مقدمات فیزیک قرن بیستم: نسبیت خاص و فیزیک زیر اتمی

رئوس مطالب:

تعداد جلسات ۹۰ دقیقه‌ای	مبحث
۱	مقدمه‌ای بر فیزیک و تاریخ فیزیک در قرن ۲۰
۶	نسبیت خاص (سینماتیک-دینامیک)
۴	فیزیک کوانتومی: دیدگاه ذره‌ای (فوتوالکتریک ..)
۴	فیزیک کوانتومی: دیدگاه موجی (دو شکاف ..)
۳	مدل های ابتدایی مکانیک کوانتومی و عدم قطعیت
۲	طیف اتم هیدروژن
۲	هسته‌ها
۲	واپاشی‌ها
۳	معرفی برهم‌کنش‌ها و ذرات بنیادی
۳	اختر فیزیک و نسبیت عام
۳۰	جمع

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	+	-

منابع اصلی:

Modern Physics. K.S. Krane, Wiley, 2012.

منابع فرعی پیشنهادی:

- 1) Fundamentals of Physics Extended, David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, 10th edition (2013)
- 2) Physics, David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane, 5th edition, (2001)
- 3) University Physics with Modern Physics, Technology Update, H. D. Young and R. A. Freedman, 13th Edition (2013).



هدف درس:

آشنایی با مبانی حرارت، میانی شاردها، موج و نور.

رئوس مطالب:

تعداد جلسات ۹۰ دقیقه‌ای	مبحث
۴	تعریف چگالی و فشار، اصل پاسکال، اصل ارشمیدس، سیال آرمانی و معادله پیوستگی
۶	ترمودینامیک (دما- تعادل انبساط بر اثر گرما قانون اول (کارو گرما) انتقال گرما)
۳	نظریه جنبشی
۲	قانون دوم و بازده
۲	موج و ذره، انواع موج، طول موج و فرکانس
۳	امواج گذرا و ایستا، تداخل امواج صوتی-تداخل امواج ضربه و اثر دو پار
۴	تورم‌هدسی، آینه عدسی‌ها، تلسکوپ و میکروسکوپ
۳	نور موجی آزمایش یانگ، تداخل پراش
۲	پراش
۳۰	جمع

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر	میان ترم	آزمون نهایی	پروژه
-	+	+	-

منابع اصلی:

Fundamentals of Physics Extended, David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker 10th edition (August 5, 2013), Wiley

منابع فرعی پیشنهادی:

- 1) Physics, David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane, 5th edition (2001)
- 2) University Physics with Modern Physics, Technology Update, H. D. Young and R. A. Freedman, 13th Edition (2013).



نخستین تصحیحاتی که با رایزنی مترجم در ویراست دهم کتاب اعمال شد.

chap	10e page	item	change	WileyPlus	paper book	pdf made
Ans	AN-13 extended	Prob 43-13 (a)	answer should be 253 MeV instead of 251 MeV.	already ok		yes
Ans	AN-13 vol 2	Prob 43-13 (a)	answer should be 253 MeV instead of 251 MeV.	already ok		yes
Ans	AN-1 Regular, Vol 1, extended	Prob 3-51	answer to prob 3-51 (b) should be negative	WP wording will now ask for "magnitude".		yes
Ans	AN-9 Regular, extended	Prob 30-101	Answer to prob 101 should be 1.15 μWb	Ok in WP		yes
Ans	AN-3 Vol 2	Prob 30-101	Answer to prob 101 should be 1.15 μWb	Ok in WP		yes
3	44	SP 3.01	Unit of answer on orienteering SP should be km instead of "m".	13-01-18		yes
4	75	SP 4.05	Wrong superscripts in two places.			yes
4			Prob 138 is a duplicate of Prob 83.		Cannot fix	
4			Prob 137 is similar to Prob 88		Cannot fix	
6	129	SP 6.02	Correction to caption to Fig. 6-4 (left over from 9e). Correct "hown" to "down".			yes
18	538	SP 18.07	Correct subscript "env" to "abs"			yes
23	682	Prob 23-48	Change wording to "A positively charged particle"	Fixed	Fixed	no need
26	748	SP 26.01	Reference should be to Table 14-1 instead of 15-1			yes
28	829	Prob 28-11	Delete "smallest". The hor and vert setup and then the demand of "undeflected" requires that the E be perp to the other vactors. No other choice.			yes
31		Q13	"(a)" missing in question statement	Ok in WP prob area		yes
42		Prob 42-46	This should be shifted back to the beta-decay module because it involves beta-decay.		Cannot fix	

مقدمه

ویراست دهم

چرا این کتاب را نوشتم

سرگرمی با چالشی بزرگ. این، آن شیوه‌ای است که من به فیزیک نگریسته‌ام، از آن روزی که شارون، یکی از دانشجویان کلاسی که من به عنوان یک دانشجوی تحصیلات تکمیلی در آن تدریس می‌کردم، ناگهان از من پرسید: "این چیزها چه ربطی به زندگی من دارد؟" و البته من بی‌درنگ پاسخ دادم: "شارون، این‌ها به همه چیز زندگی تو ربط دارند - این فیزیک است."

او از من خواست مثالی بزنم. فکر کردم و فکر کردم، ولی نتوانستم مثالی بیاورم. آن شب بود که کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک¹ را برای شارون و البته خودم آفریدم؛ زیرا اندیشیدم که شکایت او، شکایت من نیز هست. من شش سال تمام در چندین و چند کتاب درسی فیزیک لولیده بودم که به طرز شایسته‌ای بر مبنای بهترین برنامه‌های تعلیم و تربیت (پداگوژی) نگاشته شده بودند، ولی همگی چیزی کم داشتند. فیزیک جالب‌ترین موضوع جهان است، زیرا به چگونگی عمل‌کرد جهان می‌پردازد و تا آن زمان کتاب‌های درسی هر ارتباط تنگاتنگی با جهان واقعی را کاملاً حذف کرده بودند؛ سرگرمی غایب بود.

من حجم زیادی از فیزیک جهان واقعی را، مرتبط با ویراست جدید کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک به ویراست جدید مبانی فیزیک افزوده‌ام. اغلب آن‌ها حاصل کلاس‌هایی هستند که در آن‌ها مبانی فیزیک را درس می‌دهم، جایی که می‌توانم از مواجهه‌ی رو در رو و اظهارنظرهای بی‌پروا دریابم که چه موضوعی به کار می‌آید و چه موضوعی، نه. یادداشت‌های حاصل از موفقیت‌ها و شکست‌هایم مبنای این کتاب را شکل می‌دهند. پیام من در این‌جا همانی است که از زمان پس از شارون در چندین سال پیش، با هر دانشجویی که ملاقات کرده‌ام به زبان آورده‌ام. "بله، تو می‌توانی با استفاده از مفاهیم اصلی فیزیک برای همه‌ی روش‌های منجر به نتایج معتبر درباره‌ی جهان واقعی دلیل بیاوری، و این فهم واقعی، جایی است که سرگرمی هست."

هدف‌های زیادی از نگارش این کتاب داشته‌ام، ولی یکی از مهم‌ترین آن‌ها در اختیار گذاردن ابزاری برای مدرسان بوده است تا با آن بتوانند به دانشجویان آموزش دهند که چگونه به طرز مؤثری مطالب علمی را بخوانند، مفاهیم بنیادی را بشناسند، در مورد پرسش‌های علمی استدلال، و مسئله‌های کمی را حل کنند. این فرآیند، نه برای دانشجویان و نه برای مدرسان، ساده نیست. در واقع درسی که به این کتاب مربوط می‌شود ممکن است یکی از چالشی‌ترین درس‌هایی باشد که دانشجو انتخاب می‌کند. در عین حال، می‌تواند یکی از ارزشمندترین درس‌ها باشد، زیرا نظم بنیادینی را در عالم آشکار می‌سازد که تمام کاربردهای علمی و مهندسی از آن سرچشمه می‌گیرد.

بسیاری از استفاده‌کنندگان ویراست نهم (هم مدرسان و هم دانشجویان) نکته‌ها و پیشنهادهایی جهت اصلاح کتاب ارسال کرده‌اند. این اصلاح‌ها اکنون در متن و مسئله‌های سرتاسر کتاب اعمال شده است. من و انتشارات جان وایلی و پسران²، به این کتاب به چشم طرحی رو به پیشرفت نگاه می‌کنیم و با دریافت نظرات استفاده‌کنندگان آن، دلگرم‌تر می‌شویم. می‌توانید پیشنهادها، تصحیح‌ها، نظرهای مثبت یا منفی خود را به انتشارات جان وایلی و پسران یا یرل واکر (آدرس پستی:

Physics Department, Cleveland State University, Cleveland, OH 44115 USA

یا پایگاه (www.flyingcircusofphysics.com) ارسال کنید. ممکن است نتوانیم به همه‌ی پیشنهادها پاسخ دهیم، ولی همه‌ی آن‌ها را حفظ و مطالعه خواهیم کرد.

نمایش هیجان‌انگیز فیزیک

یرل واکر



مغزها و چشم‌ها را فریب دهد
رسول جعفر برزاق

¹ The Flying Circus of Physics

² John Wiley & Sons

موارد جدید کدام‌اند؟

بخش‌ها و هدف‌های یادگیری دانشجویانم از ضعیف‌ترین آن‌ها گرفته تا قوی‌ترین‌شان همواره این سؤال را از من پرسیده‌اند "قرار بوده است چه چیزی از این بخش بیاموزیم؟" موضوع این است که حتی یک دانشجوی فکور هم ممکن است متوجه نشود کدام نکات اصلی را باید از هر بخش فرا گیرد. این احساسی است که خودم هم سال‌ها پیش در استفاده از نخستین ویراست کتاب *هالیدی - رزیک* داشتم، وقتی که فیزیک سال اول دانشگاه را می‌گذراندم.

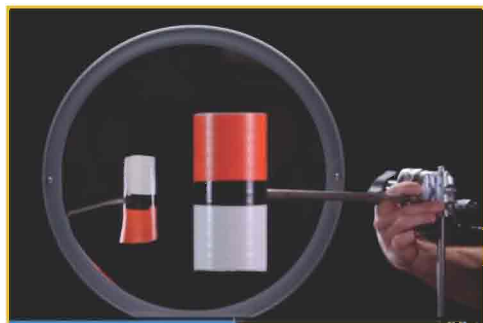
من برای حل این مشکل، در این ویراست جدید، هر فصل را با بخش‌هایی مفهومی مبتنی بر یک موضوع اصلی نوسازی کردم و هر بخش را با فهرستی از هدف‌های یادگیری آغاز نمودم. این فهرست شامل شرحی واضح از مهارت و نکات آموزشی است که باید در پی خواندن آن بخش فرا گرفته شود. در پی هر فهرست، خلاصه‌ی کوتاهی از نکته‌هایی کلیدی می‌آید که آن‌ها نیز باید فرا گرفته شوند. مثلاً نگاهی به نخستین بخش فصل ۱۶ بیاندازید، فصلی که در آن دانشجویان با حجم زیادی از مطالب و مفاهیم مواجه می‌شود. به جای آنکه کسب این مفاهیم و تقسیم‌بندی آن‌ها را به توانایی هر دانشجو واگذارم، من اکنون فهرست واری مشخصی را تدارک دیده‌ام که قدری شبیه به فهرستی است که یک خلبان پیش از راندن هواپیما باید آن‌ها را بررسی کند.

ارتباط بین تکالیف خانه و هدف‌های یادگیری در *WileyPLUS*، هر پرسش و مسئله‌ی آخر فصل به یک هدف یادگیری مربوط شده است، تا این پرسش (که معمولاً صحبتی از آن نمی‌شود) پاسخ داده شود که "چرا من دارم این مسئله را حل می‌کنم؟ و قرار است از حل آن چه چیزی بیاموزم؟" به گمان من با شرحی واضح از هدف یک مسئله، دانشجو می‌تواند آن هدف یادگیری را بهتر به مسائلی دیگر منتقل کند که بیانی متفاوت ولی همان نکته‌ی اصلی را در بر دارند. این می‌تواند به حل این مشکل فراگیر کمک کند که دانشجو روش حل یک مسئله‌ی خاص را می‌آموزد ولی نمی‌تواند نکته‌ی کلیدی آن را برای مسئله‌هایی با شکل و شمایل دیگر به کار بندد.



بازنویسی فصل‌ها دانشجویان من با چند فصل اصلی و بخش‌هایی از چند فصل دیگر مشکل داشتند و از همین رو من در این ویراست جدید بخش عمده‌ای از مطالب را بازنویسی کرده‌ام. مثلاً، من فصل‌های قانون گاوس و پتانسیل الکتریکی را که برای دانشجویانم سخت به نظر می‌رسید، از نو پی‌ریزی کرده‌ام. اکنون مطالب روان‌ترند و به شیوه‌ای سراسرتر به نکته‌های اصلی می‌رسند. در فصل‌های مربوط به فیزیک کوانتومی، من معادله‌ی شرودینگر را بسط داده‌ام، به طوری که اکنون بازتاب امواج مادی از پتانسیل پله‌ای را نیز در بر می‌گیرد. به درخواست چند تن از مدرّسان، بحث اتم بور را از معادله‌ی شرودینگر برای اتم هیدروژن جدا کردم تا بدین ترتیب بتوان از دلایل تاریخی کار بور گذشت. همچنین، اکنون بخشی در مورد تابش جسم سیاه پلانک افزوده شده است.

مسئله‌های نمونه، پرسش و مسئله‌های جدید ۶۰ مسئله‌ی نمونه‌ی جدید به فصل‌ها افزوده شده است. این مسئله‌ها طوری نوشته شده‌اند که برخی از مطالب دشوار را برای دانشجویانم روشن کند. همچنین بنا به درخواست تعدادی از مدرّسان، حدود ۲۵۰ مسئله و ۵۰ پرسش به آخر فصل‌ها افزوده شده است.



فیلم‌های آموزشی در نسخه‌ی الکترونیکی کتاب که در *WileyPLUS* موجود است، دیوید مایولو از دانشگاه راتگرز فیلم‌هایی از تقریباً ۳۰ عکس و تصویر متن کتاب تدارک دیده است. بیشتر فیزیک، مطالعه‌ی چیزها در حرکت است و یک فیلم اغلب می‌تواند درک بهتری از یک عکس یا شکل ساکن به دست دهد.



کمک‌های برخط *WileyPLUS* صرفاً یک برنامه‌ی امتیازدهی نیست، بلکه بیشتر یک مرکز

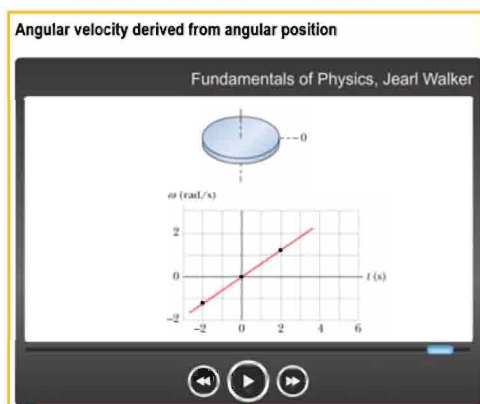


یادگیری پویا پر از کمک‌های آموزشی مختلف است که شامل حل با راهنمایی و مرحله به مرحله‌ی مسئله‌ها، همراه با آزمون‌های کوچک، تصاویر متحرک، صدها مسئله‌ی نمونه، شبیه‌سازی‌ها و نمایش‌های تصویری، و بالغ

بر ۱۵۰۰ فیلم از مرورهای ریاضی گرفته تا گفتارهایی کوتاه برای مثالها است. در هر ترم تحصیلی به بیشتر این کمک‌های یادگیری افزوده می‌شود. برای ویراست دهم، برخی از عکس‌هایی که مربوط به حرکت می‌شوند، به فیلم تبدیل شده‌اند تا بتوان آن‌ها را با دور آهسته مشاهده و تحلیل کرد.

همه‌ی این هزاران کمک‌های یادگیری ۲۴ ساعت روز و در ۷ روز هفته در دسترس‌اند و در هر زمانی قابل تکرارند. بنابراین، اگر دانشجویی درگیر مسئله‌ای، مثلاً در ساعت ۲ نیمه‌شب بشود (که ظاهراً زمانی فراگیر برای حل تکالیف فیزیک است) منابعی سودمند و مساعد در دسترس دارد که صرفاً با کلیک یک ماوس (موشواره) به او ارائه می‌شوند.

ابزارهای یادگیری

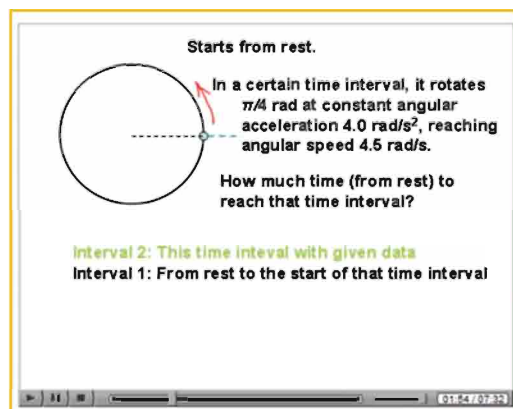


وقتی من نخستین ویراست کتاب *هالیدی - رزنیکی* در سال اول تحصیل خود فرا می‌گرفتم، برای درک بیشتر مطالب آن، هر فصل را بارها و بارها می‌خواندم. ولی امروزه دانشجویان گستره‌ی وسیعی از شیوه‌های یادگیری را در اختیار دارند، و من از این رو گستره‌ی وسیعی از ابزارهای یادگیری را هم در این ویراست جدید و هم به طور برخط در *WileyPLUS* تدارک دیده‌ام:

پویا نمایی یکی از مشخصه‌های بارز هر فصل است. در این کتاب، این مشخصه‌ها با نقشی چرخشی



نشان داده شده است. در *WileyPLUS*، پویانمایی‌ها با یک کلیک (ماوس) موشواره شروع می‌شوند. من این نمایش‌ها را که غنی از اطلاعات هستند از آن‌رو برگزیدم که دانشجویان بتوانند فیزیک مطالب را در یک یا دو دقیقه به طور عملی ببینند، به جای آن‌که صرفاً آن‌ها را به‌طور تخت در صفحه‌ی کاغذ مشاهده کنند. این نمایش‌ها نه تنها به فیزیک جان می‌بخشند، بلکه می‌توانند هر بار که دانشجو بخواهد، تکرار شوند.



فیلم‌ها من بیش از ۱۰۰۰ فیلم آموزشی را تدارک دیده‌ام که هر ترم روزآمد می‌شوند. دانشجویان می‌توانند موقع شنیدن مطالب من درباره‌ی حل‌ها، نکات آموزشی، مسائل نمونه، یا مروری‌ها، رسم‌ها و نوشته‌های من را روی صفحه‌ی نمایشگر ببینند، گویی پهلو به پهلو من، به هنگام نوشتن آن مطالب در اتاقم نشسته‌اند. تدریس رودررو، همواره از ارزشمندترین ابزار آموزشی است، با این حال فیلم‌های من ۲۴ ساعت روز، در ۷ روز هفته در دسترس‌اند، و می‌توانند به طور نامحدودی تکرار گردند.



- **آموزش‌های ویدیویی راجع به مباحث هر فصل.** مباحثی را برگزیدم که دانشجویان بیشترین مشکل را با آن‌ها دارند و آن‌ها را سردرگم می‌سازد.
- **مرورهای ویدئویی بر ریاضیات دبیرستان.** از قبیل توابع جبری مقدماتی، توابع مثلثاتی، و دستگاه معادلات.
- **مقدمات ریاضی ویدئویی.** از قبیل ضرب‌برداری که برای دانشجویان جدید هستند.
- **نمایش‌های ویدئویی تمام مسئله‌های نمونه.** در هر فصل کتاب قصد من حل مسئله‌ها با شروع از یک ایده‌ی کلیدی است، به جای آن‌که صرفاً فرمول‌ها را به کار گیرم. ولی، همچنین می‌خواهم چگونگی خواندن یک مسئله‌ی نمونه را نشان دهم، یعنی چگونه حل مسئله را بخوانیم تا روش‌های حل مسئله‌ای را بیاموزیم که می‌توانند به انواع دیگری از مسائل نیز تعمیم یابند.

GO Tutorial Close

The GO Tutorial will provide you with a step-by-step guide on how to approach this problem. When you are finished, go back and try the problem again on your own. To view the original question while you work, you can just drag this screen to the side. (This GO Tutorial consists of 4 steps).

Step 1: Solution Step 1 of GO Tutorial 10-30

KEY IDEAS:

(1) When an object rotates at constant angular acceleration, we can use the constant-acceleration equations of Table 10-1 modified for angular motion:

(1) $\omega = \omega_0 + \alpha t$

(2) $\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$

(3) $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$

(4) $\theta - \theta_0 = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)t$

(5) $\theta - \theta_0 = \omega t - \frac{1}{2} \alpha t^2$

Counterclockwise is the positive direction of rotation, and clockwise is the negative direction.

(2) If a particle moves around a rotation axis at radius r , the magnitude of its radial (centripetal) acceleration a_r at any moment is related to its tangential speed v (the speed along the circular path) and its angular speed at that moment by

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

(3) If a particle moves around a rotation axis at radius r , the magnitude of its tangential acceleration a_t (the acceleration along the circular path) at any moment is related to angular acceleration α at that moment by

$$a_t = r\alpha$$

(4) If a particle moves around a rotation axis at radius r , the angular displacement through which it rotates is related to the distance s it moves along its circular path by

$$s = r\Delta\theta$$

GETTING STARTED: What is the radius of rotation (in meters) of a point on the rim of the flywheel?

Number Unit

exact number, no tolerance

[Check Your Input](#)

Step 2: Solution Step 2 of GO Tutorial 10-30

What is the final angular speed in radians per second?

Number Unit

the tolerance is +/-2%

[Check Your Input](#)

Step 3: Solution Step 3 of GO Tutorial 10-30

What was the initial angular speed?

Number Unit

exact number, no tolerance

[Check Your Input](#)

Step 4: Solution Step 4 of GO Tutorial 10-30

Through what angular distance does the flywheel rotate to reach the final angular speed?

Number Unit

the tolerance is +/-2%

[Check Your Input](#)

Now that you know how to solve the problem, go back and try again on your own. Close

• حل‌های ویدئویی برای ۲۰٪ مسئله‌های

برگزیده‌ی آخر فصل. چگونگی دسترسی و

تعیین زمان دسترسی به این حل‌ها توسط مدرس تعیین می‌شود. مثلاً آن‌ها می‌توانند پس از یک فرجه‌ی تکلیف‌خانه یا یک امتحان، قابل دسترسی باشند. هر حل صرفاً یک جای‌گذاری در فرمول‌ها نیست. بلکه من هر حل را از ایده‌های کلیدی تا نخستین مرحله‌ی استدلال و تا حل نهایی پی می‌ریزم. دانشجویان صرفاً حل یک مسئله‌ی خاص را فرا نمی‌گیرند، بلکه یاد می‌گیرند که چگونه با هر نوع مسئله‌ای دست و پنجه نرم کنند، حتی اگر حل آن مسائل به یک شهادت فیزیکی نیاز داشته باشد.

• مثال‌های ویدئویی از چگونگی خواندن

داده‌ها از روی نمودار. (بیش از خواندن

ساده‌ی یک عدد بدون درک فیزیک آن)

• کمک حل مسئله من مراجع زیادی برای

WileyPLUS نوشته‌ام تا به مهارت‌های حل

مسئله‌ی دانشجویان کمک کند.

• تمام مسئله‌های نمونه‌ی کتاب. به طور

وصل - خط در هر دو شکل نوشتاری و ویدئویی

در دسترس است.

• صدها مسئله‌ی نمونه‌ی اضافی. گرچه آن‌ها

به طور مستقل در دسترس‌اند، اما (بسته به

صلاحید مدرس) می‌توانند به مسائل تکالیف

خانه نیز مرتبط شوند. بنابراین، اگر یکی از مسائل تکلیف‌خانه، مثلاً مربوط به نیروهای وارد بر قطعه‌ای روی سطح شیبدار باشد، ربطی به یک مسئله‌ی نمونه‌ی مربوط به آن فراهم شده است. ولی، این مسئله‌ی نمونه صرفاً المثنی آن تکلیف نیست و بنابراین حلی را فراهم نمی‌آورد که بشود بدون درک موضوع، صرفاً از آن کپی‌برداری کرد.

• حل‌های با راهنمایی مرحله به مرحله. برای ۱۵٪ مسئله‌های آخر کتاب فراهم آمده‌اند. من در چند مرحله،

دانشجویان را با شروع از ایده‌های کلیدی راهنمایی می‌کنم و وقتی پاسخ غلطی بدهند، آن‌ها را برای رسیدن به پاسخ درست راهنمایی می‌کنم. ولی عمدتاً قسمت آخر (پاسخ نهایی) را به دانشجویان وا می‌گذارم تا در پایان آن‌ها مسئول پاسخ نهایی باشند. برخی از سیستم‌های حل مسئله‌ی مرحله به مرحله، وقتی دانشجو پاسخ غلطی را می‌دهد او را به دام می‌اندازند، که این می‌تواند موجب سرخوردگی زیادی شود. سیستم یاددهی من دامی ندارد، زیرا دانشجو می‌تواند در هر مرحله‌ای از حل، به مسئله‌ی اصلی بازگردد.

• راهنمایی برای تمام مسئله‌های آخر فصل. به طور برخط (بسته به صلاحید مدرس) در دسترس‌اند. من

این راهنمایی‌ها را به صورت ایده‌های اصلی و روش‌های کلی حل مسائل نوشته‌ام، نه این‌که دستورالعمل‌هایی برای رسیدن به پاسخ نهایی بدون هیچ درکی از مطلب باشند.

• مطالب ارزشیابی

• پرسش‌های مروری در هر بخش به‌طور برخط در دسترس‌اند. من پرسش‌ها را از آن رو نوشته‌ام که نیاز به

تحلیل یا درک عمیقی ندارند؛ بلکه آن‌ها آزمون ساده‌ای برای آن‌اند که آیا دانشجو آن بخش را خوانده است یا خیر. وقتی دانشجو یک بخش را باز می‌کند، یک پرسش به طور تصادفی (از بانک پرسش‌ها) در انتها ظاهر



می‌شود. مدرس می‌تواند تصمیم بگیرد که آیا این پرسش بخشی از نمره‌ی دانشجو باشد یا صرفاً وسیله‌ای باشد برای استفاده‌ی دانشجو.

• نکته‌ی واری در بیشتر بخش‌ها در دسترس‌اند. این پرسش‌ها به تحلیل و بررسی دربارهی فیزیک آن بخش نیاز دارند. پاسخ‌های نکته‌های واری در انتهای کتاب آمده است.

نکته‌ی واری



سه جفت از مکان‌های اولیه و نهایی، به ترتیب روی محور x داده شده‌اند. کدام جفت یک جابه‌جایی منفی را به دست می‌دهد، (الف) $1-3m, 5m$ (ب) $1-3m, -7m$ (پ) $47m, -3m$ ؟

• همه‌ی مسئله‌های آخر فصل (و بسیاری مسائل دیگر) در *WileyPLUS* موجود است. مدرس می‌تواند یک تکلیف‌خانه ایجاد کند و وقتی پاسخ‌ها به طور برخط رسیدند، چگونگی نمره دادن به آن‌ها را تنظیم کند. مثلاً، مدرس می‌تواند زمان پاسخ‌گویی و این‌که دانشجو چقدر می‌تواند با هر پرسش کلنچار رود را تنظیم کند. مدرس همچنین می‌تواند تصمیم بگیرد کدام کمک‌های یادگیری، در صورت وجود، در کنار هر مسئله‌ی تکلیف‌خانه موجود باشد. این ارتباط‌ها می‌توانند شامل راهنمایی‌ها، مسئله‌های نمونه، مطالب نوشتاری داخل فصل، آموزش‌های ویدئویی، مرورهای ریاضی ویدئویی، و حتی حل‌های ویدئویی باشد (که آخری می‌تواند پس از مثلاً یک فرجه‌ی پاسخ‌گویی در دسترس باشد).

• مسئله‌های با نمادگذاری نشان‌دار. در هر فصل موجودند و نیاز به پاسخ‌های جبری دارند.

• همه‌ی پرسش‌های آخر فصل کتاب. به عنوان تکلیف در *WileyPLUS* موجود است. این پرسش‌ها (به شکل چندگزینه‌ای) طراحی شده‌اند تا درک مفهومی دانشجو را بیازمایند.

نشانه‌هایی برای کمک بیشتر وقتی حل‌هایی برای تعداد معینی از مسئله‌های فرد، چه در شکل الکترونیکی و چه در شکل چاپی کتاب، تدارک دیده شد، به صورت این مسئله‌ها نشانگرهایی اختصاص داده شد تا هم دانشجویان و هم مدرسان از محلی که پاسخ‌ها در آن‌جا قرار دارند، مطلع شوند. همچنین نشانگرهایی را برای حل‌های با راهنمایی مرحله به مرحله و حل به روش تعاملی، و ارتباطی با کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک ارائه شده است. یک راهنمای نشانگرها در این‌جا داده شده است:

مسئله‌ها

حل با راهنمایی مرحله به مرحله (بسته به صلاحدید مدرس) در *WileyPLUS* و *WebAssign* موجود است.

تعداد تپه‌ها مطح دشواری مسئله را مشخص می‌کند.

حل در *ILW*

داده شده است.

حل به روش تعاملی در *WWW*

اطلاعات بیشتر در کتاب نمایش هیجان‌انگیز فیزیک و در www.flyingcircusofphysics.com

سپاسگزاری

ویراست دهم

اشخاص زیادی در این کتاب سهیم بوده‌اند. جی. ریچارد کریسمن از آکادمی حفاظت ساحلی دوباره مکمل‌های بسیار خوبی برای این کتاب فراهم کرده است؛ پیشنهادهای او برای این کتاب گران‌بها بوده است. سن-بن لیانو از آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور، جیمز وایتتون از دانشگاه ایالتی پلی‌تکنیک جنوبی، و جری شی از سیتی کالج پاسادنا کار بسیار سترگ تهیه‌ی پاسخ‌های مسأله‌ها را بر عهده داشته‌اند. در انتشارات جان وایلی از کمک‌های استوارت یوهانسون، جرالدين آساتو و آلی رتروپ، ویراستاران این انتشارات بهره‌گرفتم که در سرتاسر کار، از ابتدا تا پایان، بر آن نظارت داشتند. از الیزابت اسواین، مدیر تولید که مسئولیت همه‌ی بخش‌های کتاب را در حین فرآیند پیچیده‌ی تولید بر عهده داشت، سپاسگزاریم. همچنین از مدی لژور برای طراحی متن و جلوه‌های هنری جلد، لی گلدشتاین برای صفحه‌آرایی، هلن والدن برای ویرایش متن، و لیلیان برادی برای غلط‌گیری سپاسگزاریم. جنیفر اتکینز در جستجوی عکس‌های جالب و نامتعارف الهام‌بخش بود. هم انتشارات جان وایلی و هم یرل واکر مایل‌اند از اشخاص زیر نظرها و ایده‌هایشان در مورد ویراست‌های اخیر کتاب سپاسگزاری کنند:

جانانان آبرامسون از دانشگاه ایالتی پرتلند؛ عمر آدوی از کالج پرتلند؛ ادوارد آدلسون از دانشگاه ایالتی آهایو؛ استیون آر. بیکر از دانشکده تحصیلات تکمیلی نیروی دریایی؛ جرج کاپلان از کالج ولسلی؛ ریچارد کاس از دانشگاه ایالتی آهایو؛ محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر از سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی (تهران)؛ کرایگ کلتزینگ از دانشگاه آیوا؛ استوارت لوکس از کالج آمریکن ریور؛ لارنس لوریو از دانشگاه ایلنوی شمالی؛ تین ماهسوارانتان از دانشگاه ویتروپ؛ جو مک‌کولاج از کالج کابلریلو؛ کارل ای. موگان از آکادمی نیروی دریایی ایالات متحده؛ دان ان. پیچ از دانشگاه آلبرتا؛ الی ریچی از کالج فورت اسکات کامیونیتی، اندرو جی. رینزler از دانشگاه فلوریدا؛ دوبراوکا راپنیک از دانشگاه ایالتی لویزیانا؛ رابرت اشبینگر از دانشگاه رانگرس؛ روث شوارتز از دانشکده‌ی مهندسی میلوای؛ کارول استرانگ از دانشگاه آلبرتا در هانتیل؛ نورا تورنبر از کالج راریتان ولی کامیونیتی؛ فرانک ونگ از کالج لاگو آریا کامیونیتی؛ گراهام دبلیو. ویلسون از دانشگاه کانزاس؛ رولند وینکلر از دانشگاه ایلنوی شمالی، اورلینج زوکر از دانشگاه ایالتی کلیولند.

سپاسگزاری

ویراست یازدهم

مرورگران صاحب‌نظر بیرونی ما ممتاز و برجسته بوده‌اند و در اینجا می‌خواهیم مراتب قدردانی خود را به تک تک اعضای این تیم واری ابراز داریم.

- M. R. Khoshbin-e-Khoshnazar, Research Institution for Curriculum Development and Educational Innovations (Tehran)
- Sudipa Kirtley, Rose-Hulman Institute
- Leonard Kleinman, University of Texas at Austin
- Craig Kletzing, University of Iowa
- Peter F. Koehler, University of Pittsburgh
- Arthur Z. Kovacs, Rochester Institute of Technology
- Kenneth Krane, Oregon State University
- Hadley Lawler, Vanderbilt University
- Priscilla Laws, Dickinson College
- Edbertho Leal, Polytechnic University of Puerto Rico
- Vern Lindberg, Rochester Institute of Technology
- Peter Loly, University of Manitoba
- Stuart Loucks, American River College
- Laurence Lurio, Northern Illinois University
- James MacLaren, Tulane University
- Ponn Maheswaranathan, Winthrop University
- Andreas Mandelis, University of Toronto

- Robert R. Marchini, Memphis State University
- Andrea Markelz, University at Buffalo, SUNY
- Paul Marquard, Caspar College
- David Marx, Illinois State University
- Dan Mazilu, Washington and Lee University
- Jeffrey Colin McCallum, The University of Melbourne
- Joe McCullough, Cabrillo College
- James H. McGuire, Tulane University
- David M. McKinstry, Eastern Washington University
- Jordon Morelli, Queen's University
- Eugene Mosca, United States Naval Academy
- Carl E. Mungan, United States Naval Academy
- Eric R. Murray, Georgia Institute of Technology, School of Physics
- James Napolitano, Rensselaer Polytechnic Institute
- Blaine Norum, University of Virginia
- Michael O'Shea, Kansas State University
- Don N. Page, University of Alberta

فهرست مطالب

فیزیک عمومی ۳

۶۷	۵-۱۶	تداخل موج‌ها
۶۷		اصل برهم‌نهی موج‌ها
۶۸		تداخل موج‌ها
۷۱	۶-۱۶	فازبردارها
۷۲		فازبردارها
۷۴	۷-۱۶	موج‌های ایستاده و تشدید
۷۵		موج‌های ایستاده
۷۶		بازتاب‌ها در مرز
۷۷		موج‌های ایستاده و تشدید
۸۰		مرور و خلاصه‌ی درس
۸۳		مسئله‌ها

۹۵	۱۷	امواج - II
۹۵	۱-۱۷	تندی صوت
۹۵		فیزیک چیست؟
۹۶		امواج صوتی
۹۶		تندی صوت
۹۹	۲-۱۷	موج‌های صوتی پیش‌رونده
۹۹		موج‌های صوتی پیش‌رونده
۱۰۲	۳-۱۷	تداخل
۱۰۲		تداخل
۱۰۵	۴-۱۷	شدت و تراز صوت
۱۰۵		شدت و تراز صوت

۱۱۰	۵-۱۷	چشمه‌های صوتی موسیقایی
۱۱۰		چشمه‌های صوتی موسیقایی
۱۱۴	۶-۱۷	زنش
۱۱۴		زنش
۱۱۶	۷-۱۷	اثر دوپلر
۱۱۶		اثر دوپلر
۱۲۱	۸-۱۷	تندی‌های آبرصوتی، موج‌های شوکی
۱۲۱		تندی‌های آبرصوتی، موج‌های شوکی
۱۲۳		مرور و خلاصه‌ی درس
۱۲۶		مسئله‌ها

۱۳۹	۱۸	دما، گرما، و قانون اول ترمودینامیک
۱۳۹	۱-۱۸	دما
۱۳۹		فیزیک چیست؟
۱۴۰		دما
۱۴۰		قانون صفرم ترمودینامیک
۱۴۱		اندازه‌گیری دما

۱۷	۱۴	شماره‌ها
۱۷	۱-۱۴	شماره‌ها، چگالی، و فشار
۱۷		فیزیک چیست؟
۱۸		شماره چیست؟
۲۰	۲-۱۴	شماره‌های ساکن
۲۰		شماره‌های ساکن
۲۳	۳-۱۴	اندازه‌گیری فشار
۲۳		اندازه‌گیری فشار
۲۴	۴-۱۴	اصل پاسکال
۲۵		اصل پاسکال
۲۵		نمایش اصل پاسکال
۲۵		اصل پاسکال و اهرم هیدرولیکی
۲۶	۵-۱۴	اصل ارشمیدس
۲۷		اصل ارشمیدس
۳۰	۶-۱۴	معادله‌ی پیوستگی
۳۱		شماره‌های آرمانی در حال حرکت
۳۲		معادله‌ی پیوستگی
۳۴	۷-۱۴	معادله‌ی برنولی
۳۴		معادله‌ی برنولی
۳۵		اثبات معادله‌ی برنولی
۳۸		مرور و خلاصه‌ی درس
۴۰		مسئله‌ها

۵۱	۱۶	امواج - I
۵۱	۱-۱۶	موج‌های عرضی
۵۲		فیزیک چیست؟
۵۲		انواع موج‌ها
۵۲		موج‌های عرضی و طولی
۵۴		طول موج و بسامد
۵۴		دامنه و فاز
۵۵		طول موج و عدد موج زاویه‌ای
۵۵		دوره‌ی تناوب، بسامد زاویه‌ای، و بسامد
۵۶		ثابت فاز
۵۷		تندی موج پیش‌رونده
۶۰	۲-۱۶	تندی موج در یک ریسمان کشیده
۶۰		تندی موج در یک ریسمان کشیده
۶۲	۳-۱۶	انرژی و توان یک موج پیش‌رونده در طول ریسمان
۶۲		انرژی و توان یک موج پیش‌رونده در طول ریسمان
۶۴	۴-۱۶	معادله‌ی موج
۶۵		معادله‌ی موج

- ۲-۲۰ آنتروپی در جهان واقعی: ماشین‌های گرمایی ۲۲۹
 آنتروپی در جهان واقعی: ماشین‌های گرمایی ۲۲۹
- ۲-۲۰ یخچال‌ها و ماشین‌های واقعی ۲۳۵
 آنتروپی در جهان واقعی: یخچال‌ها ۲۳۶
 بازدهی ماشین‌های واقعی ۲۳۷
- ۲-۲۰ آنتروپی از دیدگاه آماری ۲۳۸
 آنتروپی از دیدگاه آماری ۲۳۹
 احتمال آنتروپی ۲۴۱
 مرور و خلاصه‌ی درس ۲۴۳
 مسئله‌ها ۲۴۵
- ۳۴ تصویرها**
- ۱-۳۴ تصویرها و آینه‌های تخت ۲۵۳
 فیزیک چیست؟ ۲۵۳
 دو نوع تصویر ۲۵۳
 اجسام گسترده ۲۵۶
- ۲-۳۴ آینه‌های کروی ۲۵۸
 آینه‌های کروی ۲۵۸
 تصویرهای حاصل از آینه‌های کروی ۲۶۰
- ۳-۳۴ سطح‌های شکست‌دهنده‌ی کروی ۲۶۴
 سطح‌های شکست‌دهنده‌ی کروی ۲۶۴
- ۴-۳۴ عدسی‌های نازک ۲۶۷
 عدسی‌های نازک ۲۶۷
- ۵-۳۴ ابزارهای نوری ۲۷۴
 ابزارهای نوری ۲۷۵
- ۶-۳۴ اثبات سه فرمول ۲۷۹
 مرور و خلاصه‌ی درس ۲۸۲
 مسئله‌ها ۲۸۴
- ۳۵ تداخل**
- ۱-۳۵ نور به‌عنوان موج ۲۹۹
 فیزیک چیست؟ ۲۹۹
 نور به‌عنوان موج ۳۰۰
- ۲-۳۵ آزمایش تداخلی ینگ ۳۰۵
 پراش ۳۰۶
 آزمایش تداخل ینگ ۳۰۷
- ۳-۳۵ شدت در تداخل دوشکافی ۳۱۲
 همدوسی ۳۱۲
 شدت در تداخل دوشکافی ۳۱۳
- ۴-۳۵ تداخل در لایه‌های نازک ۳۱۷
 تداخل در لایه‌های نازک ۳۱۸
- ۵-۳۵ تداخل سنج مایکلسون ۳۲۴
 تداخل سنج مایکلسون ۳۲۵
 مرور و خلاصه‌ی درس ۳۲۶
 مسئله‌ها ۳۲۹
- ۳۶ پراش**
- ۱-۳۶ پراش تک‌شکافی ۳۴۱
 پراش تک‌شکافی ۳۴۱
- ۲-۱۸ مقیاس‌های سلسیوس و فارنهایت ۱۴۳
 مقیاس‌های سلسیوس و فارنهایت ۱۴۳
- ۳-۱۸ انبساط گرمایی ۱۴۵
 انبساط گرمایی ۱۴۵
- ۴-۱۸ جذب گرما ۱۴۸
 دما و گرما ۱۴۸
 جذب گرما توسط جامدات و مایعات ۱۵۰
- ۵-۱۸ قانون اول ترمودینامیک ۱۵۴
 نگاهی دقیق‌تر به مفاهیم کار و گرما ۱۵۴
 قانون اول ترمودینامیک ۱۵۷
 چند حالت خاص از قانون اول ترمودینامیک ۱۵۸
- ۶-۱۸ سازوکارهای انتقال گرما ۱۶۰
 سازوکارهای انتقال گرما ۱۶۱
 مرور و خلاصه‌ی درس ۱۶۵
 مسئله‌ها ۱۶۸
- ۱۹ نظریه‌ی جنبشی گازها**
- ۱-۱۹ عدد آووگادرو ۱۸۱
 فیزیک چیست؟ ۱۸۱
 عدد آووگادرو ۱۸۲
- ۲-۱۹ گازهای کامل (آرمانی) ۱۸۲
 گازهای کامل (آرمانی) ۱۸۳
- ۳-۱۹ فشار، دما و تندی RMS ۱۸۷
 فشار، دما، و تندی RMS ۱۸۷
- ۴-۱۹ انرژی جنبشی انتقالی ۱۸۹
 انرژی جنبشی انتقالی ۱۹۰
- ۵-۱۹ مسافت آزاد میانگین ۱۹۰
 مسافت آزاد میانگین ۱۹۱
- ۶-۱۹ توزیع تندی‌های مولکولی ۱۹۳
 توزیع تندی‌های مولکولی ۱۹۳
- ۷-۱۹ گرمای ویژه‌ی مولی یک گاز کامل ۱۹۷
 گرماهای ویژه‌ی مولی یک گاز کامل ۱۹۷
- ۸-۱۹ درجه‌های آزادی و گرماهای ویژه‌ی مولی ۲۰۱
 درجه‌های آزادی و گرماهای ویژه‌ی مولی ۲۰۲
 اشاره‌ای به نظریه‌ی کوانتومی ۲۰۴
- ۹-۱۹ انبساط بی‌درروی یک گاز کامل ۲۰۵
 انبساط بی‌درروی یک گاز کامل ۲۰۵
 مرور و خلاصه‌ی درس ۲۰۹
 مسئله‌ها ۲۱۲
- ۲۰ آنتروپی و قانون دوم ترمودینامیک**
- ۱-۲۰ آنتروپی ۲۲۱
 فیزیک چیست؟ ۲۲۲
 فرآیندهای برگشت‌ناپذیر و آنتروپی ۲۲۲
 تغییر آنتروپی ۲۲۳
 قانون دوم ترمودینامیک ۲۲۷

۴۳۳	۲-۳۸ اثر فوتوالکتریک
۴۳۴	اثر فوتو الکتریک
۴۳۷	۳-۳۸ فوتون‌ها، تکانه، پراکندگی کامپتون، تداخل نوری
۴۳۷	فوتون‌ها تکانه دارند
۴۴۱	نور به عنوان موج احتمال
۴۴۴	۴-۳۸ زایش فیزیک کوانتومی
۴۴۴	زایش فیزیک کوانتومی
۴۴۶	۵-۳۸ الکترون‌ها و موج‌های ماده
۴۴۷	الکترون‌ها و موج‌های ماده
۴۵۰	۶-۳۸ معادله‌ی شرودینگر
۴۵۱	معادله‌ی شرودینگر
۴۵۳	۷-۳۸ اصل قطعیت هایزنبرگ
۴۵۴	اصل عدم قطعیت هایزنبرگ
۴۵۵	۸-۳۸ بازتاب از یک پله‌ی پتانسیل
۴۵۵	بازتاب از یک پله‌ی پتانسیل
۴۵۷	۹-۳۸ تونل‌زنی در یک سد پتانسیل
۴۵۸	تونل‌زنی در یک سد پتانسیل
۴۶۱	مرور و خلاصه‌ی درس
۴۶۳	مسئله‌ها

۴۷۱	۳۹ مطالبی بیشتر درباره‌ی موج‌های ماده
۴۷۱	۱-۳۹ انرژی‌های الکترون به تله افتاده
۴۷۱	فیزیک چیست؟
۴۷۲	موج‌های ریسمان و موج‌های ماده
۴۷۳	انرژی‌های الکترون به تله افتاده
۴۷۴	یافتن انرژی‌های کوتا‌تیده
۴۷۷	۲-۳۹ توابع موج یک الکترون به تله افتاده
۴۷۷	توابع موج یک الکترون به تله افتاده
۴۸۱	۳-۳۹ الکترون در یک چاه متناهی
۴۸۲	الکترون در یک چاه متناهی
۴۸۴	۴-۳۹ تله‌های دو و سه بعدی
۴۸۴	تله‌های الکترونی بیشتر
۴۸۶	تله‌های دو و سه‌بعدی
۴۸۸	۵-۳۹ اتم هیدروژن
۴۸۹	اتم هیدروژن یک تله‌ی الکترون است
۴۹۲	معادله‌ی شرودینگر و اتم هیدروژن
۵۰۱	مرور و خلاصه‌ی درس
۵۰۳	مسئله‌ها

۵۱۱	۴۰ همه چیز درباره‌ی اتم‌ها
۵۱۱	۱-۴۰ ویژگی‌های اتم‌ها
۵۱۲	فیزیک چیست؟
۵۱۲	برخی از ویژگی‌های اتم‌ها
۵۱۵	تکانه‌ی زاویه‌ای، گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی
۵۱۹	۲-۴۰ آزمایش اشترن-گرلاخ
۵۱۹	آزمایش اشترن-گرلاخ

۳۴۱	فیزیک چیست؟
۳۴۲	پراش و نظریه‌ی موجی نور
۳۴۳	پراش حاصل از تک‌شکاف: تعیین محل کمینه‌ها
۳۴۷	۲-۳۶ شدت در پراش تک‌شکافی
۳۴۷	شدت پراش تک‌شکافی، روش کیفی
۳۴۹	شدت در پراش تک‌شکافی، روش کمی
۳۵۲	۳-۳۶ پراش حاصل از یک روزنه‌ی دایره‌ای
۳۵۲	پراش حاصل از یک روزنه‌ی دایره‌ای
۳۵۶	۴-۳۶ پراش حاصل از دو شکاف
۳۵۷	پراش حاصل از دو شکاف
۳۶۰	۵-۳۶ توری‌های پراش
۳۶۰	توری‌های پراش
۳۶۴	۶-۳۶ توری‌ها: پاشندگی و توان تفکیک
۳۶۴	توری‌ها: پاشندگی و توان تفکیک
۳۶۷	۷-۳۶ پراش پرتوی X
۳۷۰	مرور و خلاصه‌ی درس
۳۷۲	مسئله‌ها

فیزیک عمومی ۴

۳۸۵	۳۷ نسبیت
۳۸۵	۱-۳۷ همزمانی و اتساع زمان
۳۸۵	فیزیک چیست؟
۳۸۶	اصول موضوعه
۳۸۸	اندازه‌گیری یک رویداد
۳۸۹	نسبیت همزمانی
۳۹۱	نسبیت زمان
۳۹۶	۲-۳۷ نسبیت طول
۳۹۶	نسبیت طول
۴۰۰	۳-۳۷ تبدیل لورنتس
۴۰۰	تبدیل لورنتس
۴۰۲	برخی از پیامدهای معادله‌های لورنتس
۴۰۴	۴-۳۷ نسبیت سرعت‌ها
۴۰۵	نسبیت سرعت‌ها
۴۰۶	۵-۳۷ اثر دوپلر برای نور
۴۰۶	اثر دوپلر برای نور
۴۰۹	۶-۳۷ تکانه و انرژی
۴۱۰	نگاهی نو به تکانه
۴۱۱	نگاهی نو به انرژی
۴۱۶	مرور و خلاصه‌ی درس
۴۱۹	مسئله‌ها

۴۳۱	۳۸ فوتون‌ها و موج‌های ماده
۴۳۱	۱-۳۸ فوتون، کوانتوم نور
۴۳۱	فیزیک چیست؟
۴۳۲	فوتون، کوانتوم نور

- ۴۰-۳ تشدید مغناطیسی ۵۲۲
- تشدید مغناطیسی ۵۲۳
- ۴۰-۴ اصل طرد پاولی و الکترون‌های چندگانه در یک تله ۵۲۴
- اصل طرد پاولی ۵۲۴
- الکترون‌های چندگانه در تله‌های مستطیلی ۵۲۵
- ۴۰-۵ بنا کردن جدول تناوبی ۵۲۸
- بنا کردن جدول تناوبی ۵۲۹
- ۴۰-۶ پرتوهای X و ترتیب عنصرها ۵۳۱
- پرتوهای X و ترتیب عنصرها ۵۳۱
- ۴۰-۷ لیزرها ۵۳۵
- لیزرها و نور لیزر ۵۳۶
- لیزرها چگونه کار می‌کنند ۵۳۷
- مرور و خلاصه‌ی درس ۵۴۱
- مسئله‌ها ۵۴۳
- ۴۱ رسانش الکتریسیته در جامدها ۵۵۱
- ۴۱-۱ ویژگی‌های الکتریکی فلزات ۵۵۱
- فیزیک چیست؟ ۵۵۲
- ویژگی‌های الکتریکی جامدها ۵۵۲
- ترازهای انرژی در جامد بلورین ۵۵۳
- عایق‌ها ۵۵۴
- فلزها ۵۵۵
- ۴۱-۲ نیم‌رساناها و آلایش ۵۶۱
- نیم‌رساناها ۵۶۲
- نیم‌رساناهای آلاییده ۵۶۳
- ۴۱-۳ پیوندگاه p-n و ترانزیستور ۵۶۶
- پیوندگاه p-n ۵۶۷
- یکسوساز پیوندی ۵۶۹
- دیود نور-گسیل (LED) ۵۷۰
- ترانزیستور ۵۷۲
- مرور و خلاصه‌ی درس ۵۷۳
- مسئله‌ها ۵۷۶
- ۴۲ فیزیک هسته‌ای ۵۸۱
- ۴۲-۱ کشف هسته ۵۸۱
- فیزیک چیست؟ ۵۸۱
- کشف هسته ۵۸۱
- ۴۲-۲ برخی از ویژگی‌های هسته‌ای ۵۸۴
- برخی از ویژگی‌های هسته‌ای ۵۸۵
- ۴۲-۳ واپاشی پرتوزا ۵۹۲
- واپاشی پرتوزا ۵۹۲
- ۴۲-۴ واپاشی آلفا ۵۹۶
- واپاشی آلفا ۵۹۶
- ۴۲-۵ واپاشی بتا ۵۹۹
- واپاشی بتا ۵۹۹
- ۴۲-۶ عمرسنجی پرتوزا ۶۰۲
- عمرسنجی پرتوزا ۶۰۳
- ۴۲-۷ اندازه‌گیری دز تابشی ۶۰۴
- اندازه‌گیری دز تابشی ۶۰۴
- ۴۳ انرژی حاصل از هسته ۶۲۱
- ۴۳-۱ شکافت هسته‌ای ۶۲۱
- فیزیک چیست؟ ۶۲۱
- شکافت هسته‌ای: فرایند اصلی ۶۲۲
- نگاهی دقیق‌تر به شکافت ۶۲۳
- مدلی برای شکافت هسته‌ای ۶۲۵
- ۴۳-۲ راکتور هسته‌ای ۶۲۹
- راکتور هسته‌ای ۶۲۹
- ۴۳-۳ یک راکتور هسته‌ای طبیعی ۶۳۴
- یک راکتور هسته‌ای طبیعی ۶۳۴
- ۴۳-۴ گداخت گرما هسته‌ای: فرایند اصلی ۶۳۶
- گداخت گرما هسته‌ای: فرایند اصلی ۶۳۶
- ۴۳-۵ گداخت گرما هسته‌ای در خورشید و ستارگان دیگر ۶۳۸
- گداخت گرما هسته‌ای در خورشید و ستارگان دیگر ۶۳۸
- ۴۳-۶ گداخت گرما هسته‌ای کنترل‌شده ۶۴۱
- گداخت گرما هسته‌ای کنترل‌شده ۶۴۱
- مرور و خلاصه‌ی درس ۶۴۴
- مسئله‌ها ۶۴۶
- ۴۴ کوارک‌ها، لپتون‌ها، و مهبانگ ۶۵۳
- ۴۴-۱ ویژگی‌های عمومی ذرات بنیادی ۶۵۳
- فیزیک چیست؟ ۶۵۳
- ذره‌ها، ذره‌ها، ذره‌ها ۶۵۴
- میان‌گفتار ۶۵۹
- ۴۴-۲ لپتون‌ها، هادرون‌ها، و شگفتی ۶۶۳
- لپتون‌ها ۶۶۴
- هادرون‌ها ۶۶۶
- باز هم یک قانون پایستگی دیگر ۶۶۶
- راه هشتگانه ۶۶۸
- ۴۴-۳ کوارک‌ها و ذره‌های پیام‌رسان ۶۷۱
- مدل کوارکی ۶۷۱
- نیروهای اصلی و ذره‌های پیام‌رسان ۶۷۵
- ۴۴-۴ کیهان‌شناسی ۶۷۸
- درنگی برای اندیشیدن ۶۷۸
- عالم در حال انبساط است ۶۷۹
- تابش زمینه‌ی کیهانی ۶۸۰
- ماده‌ی تاریک ۶۸۱
- مهبانگ ۶۸۲
- جمع‌بندی ۶۸۶
- مرور و خلاصه‌ی درس ۶۸۶
- مسئله‌ها ۶۸۸
- پاسخ‌ها ۶۹۷
- نمایه ۷۰۵