

جرل واکر

ویراست هشتم

# مبانی فیزیک

فیزیک پایه ۳

امواج، گرما، ترمودینامیک، نورشناسی هندسی و فیزیکی

هالیدی / رزنیکی

دکتر محمد ابراهیم ابوکاظمی

دکتر جلال الدین پاشایی راد

دکتر محمد رضا کلاهچی



نوپردازان

ویراسته

دکتر محمد ابراهیم ابوکاظمی

|                     |                                                                                                                                              |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : واکر، چرل، ۱۹۴۵ - م.<br>Walker, Jearl                                                                                                      |
| عنوان و نام پدیدآور | : میانی فیزیک / چرل واکر، هالیدی، رزنیکی، [ترجمه] محمدابراهیم ابوکاظمی، جلال الدین پاشایی راد، محمدرضا کلاهچی، ویراسته محمدابراهیم ابوکاظمی. |
| مشخصات نشر          | : تهران : نوپردازان، ۱۳۸۹ -                                                                                                                  |
| مشخصات ظاهری        | : ۴ ج.: مصور، نمودار.                                                                                                                        |
| شابک                | : دوره: 978-964-975-062-0، ج. ۳: 978-964-975-119-1                                                                                           |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | : فیبا                                                                                                                                       |
| یادداشت             | : عنوان اصلی: Fundamentals of Physics, 8th ed, c2008                                                                                         |
| مندرجات             | : ج. ۳: فیزیک پایه ۳: امواج، گرما، ترمودینامیک، نورشناسی هندسی و فیزیکی.                                                                     |
| موضوع               | : فیزیک                                                                                                                                      |
| شناسه افزوده        | : هالیدی، دیوید، ۱۹۱۶ - م.                                                                                                                   |
| شناسه افزوده        | : Halliday, David                                                                                                                            |
| شناسه افزوده        | : رزنیکی، رابرت، ۱۹۲۳ - م.                                                                                                                   |
| شناسه افزوده        | : Resnick, Robert                                                                                                                            |
| شناسه افزوده        | : ابوکاظمی، محمدابراهیم، ۱۳۲۴ - مترجم                                                                                                        |
| شناسه افزوده        | : پاشایی راد، جلال الدین، ۱۳۲۴ - مترجم                                                                                                       |
| شناسه افزوده        | : کلاهچی، محمدرضا، مترجم                                                                                                                     |
| رده‌بندی کنگره      | : ۱۳۸۹ م ۳/۵۲/۷۲۱/۷۲۱ QO۲۱                                                                                                                   |
| رده‌بندی دیویی      | : ۵۳۰                                                                                                                                        |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۱۹۵۷۰۵۰                                                                                                                                    |

A PERSIAN TRANSLATION OF FUNDAMENTALS OF  
PHYSICS, 8TH ED. D. HALLIDAY, R. RESNICK, J. WALKER,  
JOHN WILEY & SONS (2008)

|           |                                                                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| کتاب      | مبانی فیزیک/فیزیک پایه ۳ (امواج، گرما، ترمودینامیک، نورشناسی هندسی و فیزیکی)<br>(برای دانشجویان فیزیک) |
| تالیف     | واکر - هالیدی - رزنیگ                                                                                  |
| ترجمه     | محمد ابراهیم ابوکاظمی - جلال الدین پاشایی راد - محمدرضا کلاهچی                                         |
| ویراسته   | محمد ابراهیم ابوکاظمی                                                                                  |
| ناشر      | نوپردازان                                                                                              |
| قطع       | رحلی                                                                                                   |
| نوبت      | اول                                                                                                    |
| تاریخ     | تابستان ۱۳۸۹                                                                                           |
| تیراژ     | ۵۰۰۰                                                                                                   |
| صفحات     | ۴۲۸                                                                                                    |
| شابک      | ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۹۷۵ - ۰۹۹ - ۶                                                                              |
| شابک دوره | ۹۷۸ - ۹۶۴ - ۹۷۵ - ۰۶۲ - ۰                                                                              |
| قیمت      | ۲۰۰۰۰ تومان                                                                                            |

## ■ مراکز پخش

کتابیران: تهران، میدان انقلاب، ابتدای خیابان آزادی، خیابان دکتر قریب، بعد از فرصت شیرازی،

پلاک ۷، تلفن: ۱۸ - ۶۶۵۶۶۵۰۹

نوپردازان: تهران، خیابان لبافی نژاد، بین اردیبهشت و فروردین، پلاک ۲۳۸،

تلفن: ۶۶۴۱۴۴۷۴ - ۶۶۴۱۴۵۱۵ - ۶۶۴۱۱۱۷۳ - ۶۶۴۹۴۴۰۹

ناشر و مترجمان این اثر مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به افراد زیر  
که به نوعی در خلق آن سهمیم بوده اند بیان می دارند

- |                                |                                          |
|--------------------------------|------------------------------------------|
| ۱ خانم هدای اسکندری            | کرافیت متن، صفحه آرا                     |
| ۲ خانم سوس انوری               | نسخه پرداز                               |
| ۳ خانم مرجان تاجدار            | کرافیت متن، صفحه آرا                     |
| ۴ خانم فاطمه حسابی             | کرافیت متن، صفحه آرا                     |
| ۵ آقای علی حسن زاده            | ناظر فنی چاپ                             |
| ۶ آقای عمران رجبله             | سرپرست حروفچینی، حروفچین اثر، صفحه پرداز |
| ۷ آقای مصطفی روشندی            | ناظر فنی چاپ                             |
| ۸ خانم مصوهر رمزی              | حروفچین، صفحه پرداز                      |
| ۹ خانم فرزانه زینی پور         | کرافیت متن، صفحه آرا                     |
| ۱۰ آقای فخرالدین قارلقی        | ناظر فنی چاپ                             |
| ۱۱ آقای مهندس حمایون مقدس      | کرافیت مؤل، طراح جلد                     |
| ۱۲ آقای فرید مهاب پور          | ناظر فنی چاپ                             |
| ۱۳ خانم مریم السادات میرفریانی | سرپرست واحد کرافیت، کرافیت               |
| ۱۴ آقای محمد نور               | لیتوگراف، شاور چاپ                       |
| ۱۵ کارکنان                     | چاپخانه نقش و نگار                       |
| ۱۶ کارکنان                     | مرکز بخش کتابسازان نوپردازان             |

یادداشت مترجمان نه

پیشگفتار یازده

## موج - I

این نوع نوسان‌ها، که کابوس مهندسان سازه‌اند، به چه علتی پدید می‌آیند؟ ۱

۱-۱۶ فیزیک این فصل ۲

۲-۱۶ انواع موج‌ها ۲

۳-۱۶ موج‌های عرضی و طولی ۳

۴-۱۶ طول موج و بسامد ۵

۵-۱۶ سرعت انتشار موج رونده ۸

۶-۱۶ سرعت انتشار موج در روی تار کشیده ۱۲

۷-۱۶ انرژی و توان موج رونده در طول تار ۱۵

۸-۱۶ معادله موج ۱۷

۹-۱۶ اصل برهم‌نهی موج‌ها ۱۹

۱۰-۱۶ تداخل موج‌ها ۲۰

۱۱-۱۶ فازورها ۲۴

۱۲-۱۶ موج‌های ساکن ۲۶

۱۳-۱۶ موج‌های ساکن و تشدید ۲۹

مرور و جمع‌بندی ۳۳

پرسش‌ها ۳۴ / مسئله‌ها ۳۵

## موج - II

این پژواک موسیقایی را، که پژواک شاد خواننده می‌شود، چه عاملی پدید می‌آورد؟ ۴۵

۱-۱۷ فیزیک این فصل ۴۶

۲-۱۷ موج‌های صوتی ۴۶

۳-۱۷ سرعت صوت ۴۷

۴-۱۷ موج‌های صوتی رونده ۵۰

۵-۱۷ تداخل ۵۳

۶-۱۷ شدت و تراز صوت ۵۶

۷-۱۷ چشمه‌های صوت موسیقی ۶۰

۸-۱۷ زنش ۶۴

۹-۱۷ اثر دوپلر ۶۵

۱۰-۱۷ سرعت‌های آبر صوتی، موج‌های ضربه‌ای ۷۱

مرور و جمع‌بندی ۷۲

پرسش‌ها ۷۳ / مسئله‌ها ۷۴

## دما، گرما، و قانون اول ترمودینامیک

سوسک‌ها چگونه می‌توانند آتش‌سوزی دوردست را تشخیص بدهند؟ ۸۷

۱-۱۸ فیزیک این فصل ۸۸

۲-۱۸ دما ۸۸

۳-۱۸ قانون صفرم ترمودینامیک ۸۸

۴-۱۸ اندازه‌گیری دما ۹۰

۵-۱۸ مقیاس‌های سلسیوس و فارنهایت ۹۲

۶-۱۸ انبساط گرمایی ۹۴

۷-۱۸ دما و گرما ۹۷

۸-۱۸ جذب گرما در جامدات و مایعات ۹۹

۹-۱۸ نگاهی دقیق‌تر به گرما و کار ۱۰۳

۱۰-۱۸ قانون اول ترمودینامیک ۱۰۶

۱۱-۱۸ چند حالت خاص برای قانون اول ترمودینامیک ۱۰۷

۱۲-۱۸ ساز و کارهای انتقال گرما ۱۱۰

مرور و جمع‌بندی ۱۱۵

پرسش‌ها ۱۱۷ / مسئله‌ها ۱۱۸

## نظریه جنبشی گازها

چه چیزی باعث تولید این مه می‌شود؟ ۱۲۹

۱-۱۹ فیزیک این فصل ۱۳۰

۲-۱۹ عدد آووگادرو ۱۳۰

۳-۱۹ گازهای آرمانی ۱۳۱

۴-۱۹ فشار، دما، و سرعت رَم ۱۳۶

۵-۱۹ انرژی جنبشی انتقالی ۱۳۸

۶-۱۹ مسافت آزاد میانگین ۱۳۹

۷-۱۹ توزیع سرعت مولکول‌ها ۱۴۱

۸-۱۹ گرماهای ویژه مولی گاز آرمانی ۱۴۵

۹-۱۹ درجات آزادی و گرماهای ویژه مولی ۱۵۰

۱۰-۱۹ نکته‌ای از نظریه کوانتومی ۱۵۳

۱۱-۱۹ انبساط بی‌درروی گاز آرمانی ۱۵۴

مرور و جمع‌بندی ۱۵۸

پرسش‌ها ۱۶۰ / مسئله‌ها ۱۶۰

## آنتروپی و قانون دوم ترمودینامیک ۱۶۹

چه چیزی است که باعث مقاومت نوار لاستیکی یا بادکنک در مقابل کش آمدن می‌شود؟ ۱۶۹

۱-۲۰ فیزیک این فصل ۱۷۰

۲-۲۰ فرایندهای برگشت‌ناپذیر و آنتروپی ۱۷۰

۳-۲۰ تغییر آنتروپی ۱۷۱

۴-۲۰ قانون دوم ترمودینامیک ۱۷۶

۵-۲۰ آنتروپی در دنیای واقعی: ماشین‌ها ۱۷۸

۶-۲۰ آنتروپی در دنیای واقعی: یخچال‌ها ۱۸۵

۷-۲۰ بازده ماشین‌های واقعی ۱۸۶

۸-۲۰ آنتروپی از دیدگاه آماری ۱۸۸

مرور و جمع‌بندی ۱۹۲

پرسش‌ها ۱۹۴ / مسئله‌ها ۱۹۵

## موج‌های الکترومغناطیسی ۲۰۳

خورشیدنماها را چه چیزی پدید می‌آورد؟ ۲۰۳

۱-۳۳ فیزیک این فصل ۲۰۴

۲-۳۳ رنگین‌کمان ماکسول ۲۰۴

۳-۳۳ موج الکترومغناطیسی رَوَنده از نظر کیفی ۲۰۶

۴-۳۳ موج الکترومغناطیسی رَوَنده از نظر کمی ۲۱۰

۵-۳۳ انتقال انرژی و بردار پوینتینگ ۲۱۳

۶-۳۳ فشار تابش ۲۱۶

۷-۳۳ قطبش ۲۱۸

۸-۳۳ بازتاب و شکست ۲۲۳

۹-۳۳ بازتاب کلی درونی ۲۳۰

۱۰-۳۳ قطبش ناشی از بازتاب ۲۳۳

مرور و جمع‌بندی ۲۳۴

پرسش‌ها ۲۳۵ / مسئله‌ها ۲۳۶

## تصویرها ۲۴۹

چشمان این نوع ماهی چگونه ممکن است در هر دو محیط آب و هوا درس کار کند؟ ۲۴۹

۱-۳۴ فیزیک این فصل ۲۵۰

۲-۳۴ دو نوع تصویر ۲۵۰

۳-۳۴ آینه‌های تخت ۲۵۲

۴-۳۴ آینه‌های کروی ۲۵۵

۵-۳۴ تصویر در آینه‌های کروی ۲۵۶

۶-۳۴ سطح شکست کروی ۲۶۰

۷-۳۴ عدسی‌های نازک ۲۶۴

۸-۳۴ وسایل اپتیکی ۲۷۱

۹-۳۴ اثبات‌های سه‌گانه ۲۷۵

مرور و جمع‌بندی ۲۷۸

پرسش‌ها ۲۷۹ / مسئله‌ها ۲۸۰

## تداخل ۲۹۳

مرکب رنگ به رنگ شونده چگونه تغییر رنگ می‌دهد؟ ۲۹۳

۱-۳۵ فیزیک این فصل ۲۹۴

۲-۳۵ نور به مثابه موج ۲۹۴

۳-۳۵ پراش ۳۰۰

۴-۳۵ آزمایش تداخل یانگ ۳۰۱

۵-۳۵ همدوسی ۳۰۶

۶-۳۵ شدت در تداخل دو شکاف ۳۰۷

۷-۳۵ تداخل حاصل از لایه نازک ۳۱۱

۸-۳۵ تداخل سنج مایکلسون ۳۲۰

مرور و جمع‌بندی ۳۲۱

پرسش‌ها ۳۲۲ / مسئله‌ها ۳۲۴

## پراش ۳۳۷

صورت شاه‌بابون به چه علتی آبی‌رنگ است؟ ۳۳۷

۱-۳۶ فیزیک این فصل ۳۳۸

۲-۳۶ پراش و نظریه موجی نور ۳۳۸

۳-۳۶ پراش تک‌شکاف: مکان‌یابی کمینه‌ها ۳۴۰

۴-۳۶ شدت پراش تک‌شکاف، بررسی کیفی ۳۴۲

۵-۳۶ شدت پراش تک‌شکاف، بررسی کمی ۳۴۵

- ۶-۳۶ پرash در روزنه دایره‌ای ۳۴۸  
 ۷-۳۶ پرash در دوشکاف ۳۵۲  
 ۸-۳۶ توری پرash ۳۵۵  
 ۹-۳۶ توری: پاشندگی و توان تفکیک ۳۶۰  
 ۱۰-۳۶ پرash در لایه‌های منظم ۳۶۴  
 مرور و جمع‌بندی ۳۶۷  
 پرسش‌ها ۳۶۸ / مسئله‌ها ۳۶۹

### پیوست‌ها پ-۱

- ۱ دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) پ-۱
  - ۲ برخی ثابت‌های بنیادی فیزیک پ-۳
  - ۳ برخی داده‌های اخترشناسی (نجومی) پ-۴
  - ۴ ضرایب تبدیل پ-۵
  - ۵ فرمول‌های ریاضی پ-۹
  - ۶ خواص عناصر پ-۱۲
  - ۷ جدول تناوبی عناصر پ-۱۶
- پاسخ به خودآزمایی‌ها، پرسش‌ها، و مسئله‌های با شماره فرد ج-۱  
 نمایه ن-۱

را عرضه می‌کند. در ویراست هشتم این کتاب که در سال ۲۰۰۸ به چاپ رسیده است، استاد واکر برای آن که بر جذابیت این متن درسی بیفزاید و درک‌پذیری مسائل دنیای واقعی را با اصول بنیادی فیزیک بنمایاند، مطالب زیادی از کتاب دیگرش<sup>۲</sup> را متناسب با موضوعات مورد بحث در جای جای آن گنجانده است.

کتاب حاضر که ترجمه فارسی فصل‌های ۱۶ تا ۲۰ و ۳۳ تا ۳۶ متن اصلی و مشتمل بر مباحث گوناگون امواج، گرما و ترمودینامیک، و نورشناسی هندسی و فیزیکی است، براساس برنامه مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی دانشگاه‌ها، به‌عنوان متن درسی فیزیک پایه ۳ برای دانشجویان رشته فیزیک در نظر گرفته شده است. برای آن که ارجاعات درون‌متنی دست نخورد و همچنان قابل استفاده بمانند، شماره‌های شاخص فصل‌ها، بخش‌ها، شکل‌ها، و معادله‌ها را در این مجلد بی‌هیچ تغییری همانند متن اصلی آورده‌ایم. مترجمان در حد توان خود کوشیده‌اند که مطالب متن اصلی را با رعایت امانت، درستی محتوای علمی، حفظ روح نوشته و تأکیدات مؤلفان به زبان فارسی روان و قابل فهم برای دانشجویان درآورند. در انجام این کار و مسئولیت بزرگی که برعهده گرفته‌ایم، بی‌چون و چرا، نارسایی‌هایی هم داشته‌ایم که استادان و خوانندگان محترم با یادآوری آن‌ها بر ما منت می‌گذارند و این فرصت را فراهم می‌کنند که چاپ‌های بعدی این کار کم‌نقص‌تر و مفیدتر عرضه شوند. در پایان، قدردانی و سپاس‌مان را تقدیم می‌کنیم به جناب آقای دکتر شاپور گهواره، مدیر محترم انتشارات نوپردازان، و به تک‌تک همکاران زحمت‌کش بخش‌های رایانه، حروف‌چینی، نسخه‌پردازی، گرافیک، صفحه‌آرایی، و نظارت بر چاپ این مؤسسه که در جهت تولید فنی این کتاب تلاش‌های خستگی‌ناپذیر و مسئولانه‌ای از خود نشان داده‌اند و —اگر اغراق نباشد— توانسته‌اند اثری نمونه در صنعت نشر کتاب‌های درسی کشور پدید بیاورند.

محمدابراهیم ابوکاظمی، جلال‌الدین پاشایی‌راد، محمدرضا کلاه‌چی

برای بسیاری از مدرسان و دانشجویان علوم پایه و مهندسی، نام «هالیدی-رزنیک» گویی مترادف است با «فیزیک پایه دانشگاهی». با نگاهی به پیشینه، روش ارائه، و ویژگی‌های این اثر شاید بتوان این نکته را قابل توجیه دانست. ویراست اول «مبانی فیزیک هالیدی-رزنیک»، نخستین بار، در سال ۱۹۷۰ چاپ و منتشر شد. این کتاب نسخه تعدیل شده‌ای از کتاب دیگر همین مؤلفان، با نام «فیزیک»، بود که چهار سال پیش‌تر از آن به چاپ رسیده بود. از آن زمان تاکنون، این متن درسی در پرتو نظرات اصلاحی مدرسان و منتقدان، متناسب با پیشرفت روش‌های آموزش و فناوری تولید کتاب، و همچنین در پاسخ به نیازها و کاربردهای تازه، بارها و بارها بازنگری، بازنویسی، و بازتولید شده است. مؤلفان ویراست دوم این متن را در سال ۱۹۸۱، و ویراست سوم آن را با همکاری «جان مریل» در سال ۱۹۸۸ به چاپ سپردند. به گفته یکی از منتقدان، در آن ویراست مؤلفان در حالی که سطح کلی متن درسی را حفظ کرده بودند، توانستند پیش‌نیازهای آموزشی درک مفاهیم را تا حد ممکن پایین بیاورند.<sup>۱</sup> چنین نکته‌ای می‌تواند یادآور دیدگاه آلبرت اینشتین در سخن‌رانی درباره «روش‌های فیزیک نظری» باشد که گفته بود: «تا آن‌جا که می‌شود ساده، اما نه ساده‌تر از آن».<sup>۲</sup> شاید همین ویژگی‌ها از یک‌سو، و تلفیق منحصر به فرد مطالب آموزشی با کاربردهای هیجان‌برانگیز دنیای روزمره از سوی دیگر بوده باشد که رمز موفقیت و ماندگاری این متن درسی در طول چهل سال گذشته بوده است. از ویراست چهارم این کتاب (و چاپ سال ۱۹۹۳ آن) است که «جرول واکر»، استاد دانشگاه کلپولند آمریکا، به‌عنوان همکار مؤلف وارد صحنه می‌شود و با نشان دادن ارتباط فیزیک با «دنیای واقعی و زندگی روزمره» در این کتاب<sup>۳</sup>، رنگ و روی تازه‌ای به آن می‌بخشد. او این اثر را «طرحی در حال پیشرفت» در نظر می‌گیرد و، با استفاده از بازخوردهای مستقیم تدریس آن در کلاس‌های «هالیدی-رزنیک-واکر» و اظهار نظرات منتقدان و مدرسان و دانشجویان دانشگاه‌های مختلف، به‌طور متوسط هر پنج سال یک‌بار ویراست جدیدی از آن

1. Halliday-Resnick, *Fundamentals of Physics* (3rd Ed.), Wiley, 1988.

2. A. Einstein, The Herbert Spencer Lecture delivered at Oxford University, 10 June 1933, in *Mein Weltbild*, Verlag, 1934.

3. J. Walker, *The Flying Circus of Physics*, Wiley, 1977.

۳. پیش‌گفتار همین کتاب، صی یازده.

موضوع فیزیک، از دید من، هم سرگرم کننده است و هم بسیار چالش برانگیز. از روزی که یکی از دانشجویان در سر کلاس درس مرا با سؤالش متوقف کرد، من همیشه به فیزیک این چنین نگریده‌ام. در آن زمان دانشجوی دکتری بودم، و سؤال این بود: «این چیزهایی که می‌گویی چه ربطی به زندگی من دارد؟» البته من هم بلافاصله جواب دادم: «اساساً همه زندگی من و تو با همین چیزها—یعنی با همین فیزیک—سر و کار دارد».

او از من خواست که نمونه بیاورم. هرچه فکر کردم، پاسخی به نظرم نرسید. آن شب فکر سیوک بال‌دار فیزیک به ذهنم آمد و آن را به خاطر دانشجویم پدید آوردم و این البته به خاطر خودم هم بود، چون متوجه شده بودم که اعتراض او اعتراض خود من هم بود. شش سال بود که از میان چند ده کتاب درسی فیزیک به سختی راه خودم را پیدا کرده بودم. همه آن کتاب‌ها با دقت بسیار نوشته شده بودند و بهترین شیوه‌های آموزشی هم در آن‌ها به کار گرفته شده بود. با این حال، همگی شان چیزهایی کم داشتند. فیزیک جالب‌ترین موضوع عالم

است زیرا ساختار و طرز کار عالم را بررسی می‌کند، اما این کتاب‌ها انتزاعی بودند و هیچ ارتباطی با دنیای واقعی و زندگی روزمره

۲۸۰ پادهای پرسرعت که در اطراف دیوار (تورنادو) تولید می‌شوند می‌توانند پرتابه‌هایی را به تنه درختان، دیوار ساختمان‌ها، و حتی علائم راهنمایی فلزی فرو بکنند. در یک شیماسازی آزمایشگاهی، یک خلال دندان معمولی را به کمک تفنگ بادی شلیک کردیم و به شانه درخت بلوط فرو کوبیدیم. جرم خلال دندان  $1.3 \times 10^{-3}$  kg، سرعت آن قبل از فرو رفتن به شانه  $22 \text{ m/s}$ ، و عمق نفوذ آن  $15 \text{ cm}$  بود. اگر سرعت خلال دندان با آهنگ یکسان کلاهش باید، اندازه نیرویی که شانه بر خلال دندان وارد آورد چقدر بوده است؟

## مسئله نمونه ۷-۲

شکل ۱۶-۴ یک کشتی دزدان دریایی را نشان می‌دهد که  $560 \text{ m}$  از درزی کوچک، که از ورودی بندرگاه محافظت می‌کند، فاصله دارد. از نوبی که در سطح دریا قرار گرفته است، گلوله‌هایی با سرعت اولیه  $v_0 = 82 \text{ m/s}$  شلیک می‌شوند.

(الف) این گلوله‌ها با چه زاویه‌ای،  $\theta$ ، نسبت به افق باید شلیک شوند تا به کشتی برخورد کنند؟

**نکته** (۱) گلولهٔ توپ شلیک شده همانند پرتابه است. باید معادله‌ای را پیدا کنیم که زاویه پرتاب  $\theta$  در آن به جای‌جایی افقی گلوله، در فاصله میان توپ و کشتی، مربوط شود. (۲) چون توپ و کشتی در یک سطح افقی (یا ارتفاع یکسان) قرار دارند، جای‌جایی افقی همان برد است.

نداشتند. جنبه سرگرم کنندگی موضوع در آن‌ها نادیده گرفته شده بود. در این کتاب هالیدی-رزنیک-واکر (HRW) سعی کرده‌ام فیزیک دنیای واقعی را هرچه بیشتر بگنجانم و آن را با ویراست جدید کتاب دیگرم، سیوک بال‌دار فیزیک، مرتبط کنم. خیلی از مطالب آن از کلاس‌های درس HRW است که من در آن‌ها تدریس می‌کنم. در آن‌جاست که از روی چهره‌ها و اظهار نظرهای صریح می‌فهمم چه مطالب و چه روش‌هایی کارآمدی دارند و از چه چیزهایی باید پرهیز کرد. یادداشت‌هایی که از موفقیت‌ها و شکست‌هایم در این کلاس‌ها برمی‌دارم، راهنمای من در فراهم آوردن شالودهٔ این کتاب‌اند. از خیلی وقت پیش، یعنی از همان وقتی که با آن دانشجو و سؤال او روبه‌رو شدم، پیام من به دانشجویان همواره این بوده و هست که «بله، مسلماً شما می‌توانید از مفاهیم اولیهٔ فیزیک شروع کنید، راهی طولانی را بیمایید، و به نتیجه‌گیری‌های معتبری دربارهٔ دنیای واقعی برسید؛ تمام سرگرمی فیزیک هم در همین پی بردن به طرز کار دنیای واقعی است».

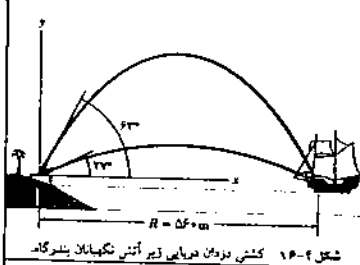
هدف‌های زیادی از نوشتن این کتاب دارم، اما هدف اصلی‌ام این است که ابزاری در اختیار مدرسان قرار دهم که به‌وسیلهٔ آن بتوانند به دانشجویان بیاموزند تا مطالب علمی را به‌طور مؤثر بخوانند، مفاهیم بنیادی را تشخیص بدهند، با استفاده از سؤال‌های علمی استدلال کنند،



در یکی از صحنه‌های فیلم «تورنادو» (تورنادو) تولید می‌شوند می‌توانند پرتابه‌هایی را به تنه درختان، دیوار ساختمان‌ها، و حتی علائم راهنمایی فلزی فرو بکنند. در یک شیماسازی آزمایشگاهی، یک خلال دندان معمولی را به کمک تفنگ بادی شلیک کردیم و به شانه درخت بلوط فرو کوبیدیم. جرم خلال دندان  $1.3 \times 10^{-3}$  kg، سرعت آن قبل از فرو رفتن به شانه  $22 \text{ m/s}$ ، و عمق نفوذ آن  $15 \text{ cm}$  بود. اگر سرعت خلال دندان با آهنگ یکسان کلاهش باید، اندازه نیرویی که شانه بر خلال دندان وارد آورد چقدر بوده است؟

۶۲۰۰۰ پارتی حرکت چرخشی توپ را چرخش او با سرعت زاویه‌ای  $\omega$  آغاز می‌کند (شکل ۱۱-۲۰). بخش چرخشی او از دو قسمت تشکیل شده است: قسمت  $1.44 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  مربوط به پا که به طرف بیرون کشیده شده است و با بدن زاویه  $90^\circ$  تشکیل می‌دهد، و قسمت دیگر  $0.66 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  است. مربوط به بقیهٔ بیکر (که اساساً مربوط به تنه است). این اولین در زمینهٔ بیشترین ارتفاع، هر دو پا را با زاویه  $\theta = 30^\circ$  نسبت به بدن نگه می‌دارد و سرعت زاویه‌ایش در این حالت  $\omega$  می‌شود (شکل ۱۱-۲۰). با فرض این که  $\omega$  تغییر نکرده باشد، نسبت  $\omega/\omega_0$  چقدر است؟

۳. پرتاب توپ وقتی یک ورزشکار پرتاب طول در حال بلند شدن از کف زمین است، نیروهای وارد بر پای خیزبردارنده به ورزشکار تکانه‌ای زاویه‌ای می‌دهند که منجر به چرخش رو به جلوی وی حول یک محور افقی می‌شود. چنین چرخشی سبب می‌شود که ورزشکار بتواند به‌صورتی مناسب فرود بیاید. هنگام فرود پاها باید در کنار هم و کشیده شده به سمت جلو در چنان زاویه‌ای یا زمین بر خورد کنند که پاشنه‌های روی ماله در بیشترین مسافت کشیده شوند. به محض شناسا شدن در هوا، تکانهٔ زاویه‌ای قابل تغییر نیست (تکانهٔ زاویه‌ای پایسته می‌ماند) زیرا هیچ گشتاور نیروی خارجی‌ای بر آن وارد نمی‌شود که منجر به تغییر شود. اما این ورزشکار می‌تواند بخش اعظم تکانهٔ زاویه‌ای‌اش را با چرخاندن بازویش، به‌صورت پرتابه‌های آسیای پادی، به آن‌ها منتقل کند (شکل ۱۱-۱۹). در این صورت، بدن به‌طور فائق و با سمت گیری مناسب برای فرود قرار می‌گیرد.



مسئله‌های جدید زیادی نیز، از هر دو سطح متوسط و دشوار، افزوده شده‌اند.

## ویژگی فصل‌ها

**معمای سرآغاز فصل** هر فصل با توصیف وضعیتی معمایی آغاز می‌شود که توضیح آن در همان فصل آمده است، و هدف هم کنجکا کردن و ترغیب دانشجو به خواندن فصل است. این ویژگی‌ها متمایزکننده کتاب مبتنی فیزیک همگی بر پایه تحقیقات امروزی استوارند که به صورت مقالات در مجلات علمی، مهندسی، پزشکی و حقوقی گزارش شده‌اند.

**فیزیک این فصل** در کتاب حاضر، داستان هر فصل با این عنوان شروع می‌شود که مقدمه‌ای است برای معرفی موضوع آن فصل (روزی لوله‌کشی از من پرسید «حرفه شما چیست؟» من پاسخ دادم «من فیزیک درس می‌دهم.» چند دقیقه‌ای فکر کرد و سپس پرسید «فیزیک چیست؟» با این که تمام کار لوله‌کشی بر پایه فیزیک استوار است، او فیزیک را نمی‌شناخت و از من می‌پرسید که فیزیک چیست بسیاری از دانشجویان در کلاس‌های درس فیزیک مقدماتی نمی‌دانند فیزیک چیست، ولی تصورشان این است که فیزیک ربطی به حرفه‌ای که انتخاب کرده‌اند ندارد.)

**خودآزمایی‌ها** همانند ایستگاه‌هایی در میان فصل عمل می‌کنند. در این ایستگاه‌ها از دانشجو پرسیده می‌شود «آیا می‌توانید این سؤال را با اندکی استدلال بر پایه موضوع یا نمونه مسئله‌ای که تازه خوانده‌اید پاسخ دهید؟» اگر نه، دانشجو پیش از آن که بیشتر وارد متن فصل شود باید برگردد و آن مطلب را دوباره مطالعه کند. برای مثال، نگاه کنید به خودآزمایی ۱ صفحه ۸۴ و خودآزمایی ۲ صفحه ۲۸۲. پاسخ همه این خودآزمایی‌ها در آخر کتاب آمده است.

**مسئله‌های نمونه** چنان انتخاب شده‌اند که راه حل مسئله‌ها را به روش‌هایی استدلالی نشان دهند، نه این که صرفاً اعدادی در معادله‌ای بگذارند و خیلی راحت به جواب برسند بی آن که به مضمون معادله توجهی داشته باشند. مسئله‌های نمونه‌ای که عنوان «کارآموزی» دارند، معمولاً طولانی‌ترند و راهنمایی بیشتری در آن‌ها درج شده است.

**نکته‌ها** در مسئله‌های نمونه، توجه دانشجو را به مفاهیم اولیه‌ای که ریشه حل مسئله‌اند جلب می‌کنند. انگار که این نکته‌ها چنین می‌گویند

و با حل مسائل به پاسخ‌هایی کمی برسند. این فرایند نه برای دانشجویان آسان است نه برای مدرسان. درواقع، یادگیری این درس در این کتاب شاید چالش‌برانگیزترین مورد در میان تمامی دروسی باشد که هر دانشجویی می‌گذراند. در عین حال، شاید مفیدترین آن‌ها هم باشد زیرا ساز و کار بنیادی عالم را که منشأ تمام کاربردهای علمی و مهندسی است، نشان می‌دهد.

خیلی از کسانی که از ویراست هفتم این کتاب استفاده کردند (هم مدرس و هم دانشجو)، اظهار نظرهای پیشنهادی خود را برای بهتر شدن آن فرستادند. این‌ها در متن کتاب و مسائل پایان فصل‌ها گنجانده شده‌اند. هم ناشر و هم خود من این کتاب را به صورت طرحی در حال پیشرفت در نظر می‌گیریم و ارسال پیشنهادهای بیشتر کاربران را انتظار داریم. نظرات مثبت یا منفی، پیشنهادها، و تصحیحات خود را می‌توانید به نشانی جان وایلی و پسران (<http://www.wiley.com/college/halliday>) یا به نشانی جرل واکر (دانشکده فیزیک، دانشگاه ایالتی کلیولند، کلیولند، اوهایو، ۴۴۱۱۵، ایالات متحد آمریکا؛ شماره دورنگار ۲۴۲۴ ۶۸۷ ۲۱۶ آمریکا)؛ یا پست الکترونیکی [physics@wiley.com](mailto:physics@wiley.com)؛ یا وبگاه [www.flyingcircusofphysics.com](http://www.flyingcircusofphysics.com) بفرستید. ممکن است نتوانیم به همه پیشنهادها پاسخ بدهیم، اما تک‌تک آن‌ها را مطالعه و نگاه‌داری خواهیم کرد.

## تغییرات محتوایی عمده

- مطالب کتاب سیرک بال‌دار از چند راه در این کتاب وارد شده‌اند: از راه معماهای مطرح شده در سرآغاز فصل‌ها، از راه مسئله‌های نمونه، مثال‌ها، و مسئله‌های پایان فصل. در این کار، دو هدف مد نظر بوده‌اند: (۱) موضوع جالب‌تر و دوست‌داشتنی‌تر شود، (۲) به دانشجو نشان داده شود که دنیای پیرامون خود را می‌تواند با استفاده از اصول بنیادی فیزیک بررسی و درک کند.
- قانون گرانش نیوتون، قانون کولن، و قانون بیو-سوار در کتاب حاضر با استفاده از نماد بردار یک‌پارچه ارائه شده‌اند.
- اغلب معماهای مطرح شده در سرآغاز فصل‌ها (مثال‌هایی از فیزیک کاربردی که به منظور ترغیب خواننده و برانگیختن کنجکاوی‌اش نسبت به موضوع فصل طراحی شده‌اند) تازه‌اند، و مستقیماً از مجلات تحقیقاتی در رشته‌های گوناگون برگرفته شده‌اند.
- چند هزار مسئله پایان فصل را چنان بازنویسی کرده‌ام که هم کارایی طرز ارائه را بالاتر ببریم و هم راه حل را روشن‌تر نشان دهم.

تحلیل و درهم آمیزی مفاهیم نداشته باشد. از همه این ها گذشته، دانشجوی مدت ها پس از خواندن این کتاب و گذراندن این درس، به مهارت های تجزیه و تحلیل و درهم آمیزی مفاهیم ذهنی نیاز خواهد داشت.

**کاربرد ماشین حساب مجهز به عملیات برداری** هنگامی که محاسبات برداری یک مسئله نمونه را بتوان با ماشین حساب مجهز به عملیات برداری انجام داد، در حل این مسئله به این نکته اشاره می شود. با این حال، به روال معمول، حل مسئله با استفاده از مؤلفه ها ادامه می یابد. در حالتی که محاسبات برداری مسئله را نتوان روی صفحه این نوع ماشین حساب ها انجام داد، دلیل آن را توضیح داده ایم.

**نمودار به جای مسئله** این ها مسئله هایی هستند که حاوی نمودارند و نتیجه ای را خواستارند که صرفاً با خواندن داده ها از روی نمودار به دست نمی آید. حل این مسئله ها نیازمند درک وضعیت فیزیکی مسئله و شناخت مبانی معادلات مرتبط با آن است. این مسئله ها بیشتر شبیه به معماهایی است که شرلوک هولمز با آن ها سرو کار پیدا می کند، زیرا دانشجوی باید تعیین کند که چه داده هایی حایز اهمیت اند. برای مثال، نگاه کنید به مسئله ۵۰ صفحه ۱۰۸، مسئله ۱۲ صفحه ۱۴۵، و مسئله ۲۲ صفحه ۳۱۲.

**مسئله های با مضمون فیزیک کاربردی** که براساس تحقیقات منتشر شده طراحی شده اند، در جای جای این کتاب به یکی از صورت های معمای سرآغاز فصل، مسئله نمونه، یا مسئله تکلیفی پایان فصل آمده اند. برای مثال، نگاه کنید به معمای سرآغاز فصل ۴ صفحه ۷۹، نمونه مسئله ۴-۸ صفحه ۹۳، و مسئله ۶۲ صفحه ۴۰۹. به عنوان نمونه ای از مسئله هایی که از جوانب گوناگون در قالب داستانی دنباله دار طراحی شده اند، نگاه کنید به مسئله های ۲، ۳۹، و ۶۱ در صفحات ۱۷۷، ۱۸۲، و ۱۸۴.

**مسئله های با موضوع های نوظهور** که در این جا به یکی از چند صد مسئله از این دست اشاره می شود. مسئله ۶۹ صفحه ۱۵۱، به داستان واقعی پرواز ۱۴۳ هواپیمایی از شرکت ایر کانادا مربوط می شود که در ارتفاع ۷/۹ km سوختش تمام شد. دلیل آن هم این بود که خدمه هواپیما و کارکنان فرودگاه به یکاهای متداول برای سوخت به دقت توجه نکردند (که باید درس مهمی برای دانشجویانی باشد که می خواهند همین جوری از خیر یکاها بگذرند).

جرول واکر

«حل مسئله را با این مفاهیم اولیه شروع می کنیم. این روشی است که ما را برای حل بسیاری از مسئله های دیگر هم آماده می کند. این طور نیست که معادله ای را برداریم و صرفاً در آن عددگذاری کنیم، روشی که به هیچ دردی نمی خورد.»

**شگردهای حل مسئله** شامل دستورهای هستند که دانشجوی تازه وارد به درس فیزیک را راهنمایی می کنند تا بتواند مسئله را حل کند و از اشتباه های متداول بپرهیزد.

**مرور و جمع بندی** خلاصه ای از محتویات فصل و شامل مفاهیم اصلی آن است، ولی جانشینی برای مطالعه فصل نیست.

**پرسش ها** هم مانند خودآزمایی ها به درک مطلب و قدرت استدلال نیاز دارند نه به محاسبه. پاسخ به پرسش هایی که شماره فرد دارند در آخر کتاب آمده است.

**مسئله ها** طبق عناوین بخش های فصل دسته بندی شده اند، و تعداد ستاره هایی که در کنار شماره مسئله گذاشته شده اند سطح دشواری آن ها را مشخص می کند. پاسخ به مسئله هایی که شماره فرد دارند در آخر کتاب آمده است.

**مسئله های دیگر** این مسئله ها به هیچ روشی مرتب یا دسته بندی نشده اند، بنابراین دانشجوی خودش باید تشخیص دهد که هر مسئله به کدام بخش از فصل مربوط می شود و چگونه باید آن را حل کرد.

## ویژگی های دیگر

**استدلال در برابر عددگذاری و جواب گیری** یکی از هدف های اصلی کتاب حاضر این است که به دانشجوی بیاموزد چگونه از اصول اولیه شروع کند و با استدلال و پیمودن مسیر چالش برانگیز حل مسئله به پاسخ آن برسد. هر چند تعدادی از مسئله های «عددگذاری کن و جواب بگیر» در این کتاب همچنان باقی مانده اند، ولی تأکید بیشتر مسئله ها بر استدلال کردن است.

**فصل های با اندازه موجه** برای پرهیز از کتابی که چنان ضخیم باشد که جلوی فشنگ (و همچنین دانشجوی) را بگیرد، اندازه فصل های کتاب حاضر را توجیه پذیر در نظر گرفته ام. مطالب را به قدر کافی و آن چنان توضیح می دهم که دانشجوی بتواند مسیر خود را پیدا کند و شروع به حرکت کند، ولی نه آن قدر زیاد که دیگر احتیاجی به تجزیه و