



مکانیک تحلیلی

گ. ر. فاؤلز

ترجمه جعفر قیصری



Analytical Mechanics
Grant R. Fowles
Fourth Edition
CBS International Editions, 1987

مکانیک تحلیلی
تألیف گ. ر. فاؤلز
ترجمه دکتر جعفر قیصری
ویراسته بهرام معلمی
مرکز نشر دانشگاهی، تهران
چاپ اول ۱۳۷۱
چاپ پنجم ۱۳۸۳
تعداد ۴۰۰۰
حروفچینی: مهدی
لیتوگرافی: کوه‌رنگ
چاپ: محمدامین
حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

فاؤلز، گرات / گ. ر. فاؤلز؛ ترجمه جعفر قیصری. — تهران. مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۱.

نه، ۴۱۰ ص.؛ مصور، جدول. — (مرکز نشر دانشگاهی؛ ۶۵۹. فیزیک؛ ۵۸)
ISBN 964-01-0659-3

فهرست‌نویسی براساس اطلاعات فیبا.
عنوان اصلی:
Analytical mechanics, 4th ed.
این کتاب در سالهای مختلف توسط ناشرین و مترجمان مختلف منتشر شده است.
چاپ پنجم: ۱۳۸۳.
۱. مکانیک تحلیلی. ۲. مکانیک تحلیلی — مسائل، تمرینها و غیره. الف. قیصری، جعفر، مترجم. ب. مرکز نشر دانشگاهی. ج. عنوان.

۵۳۱/۰۱۵۱۵

QAA۰۷/ف۲م۷

۱۳۷۱

۳ - ۷۶ م

کتابخانه ملی ایران

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مختصر مطالب

۳	۱. مفاهیم بنیادی. بردارها
۴۵	۲. مکانیک نیوتونی. حرکت راستخط ذره
۶۹	۳. نوسانگر هماهنگ
۱۰۷	۴. حرکت کلی ذره در سه بعد
۱۴۰	۵. دستگاههای مرجع نالخت
۱۶۴	۶. نیروهای مرکزی و مکانیک سماوی
۲۰۴	۷. دینامیک سیستمهای ذرات
۲۳۱	۸. مکانیک اجسام صلب. حرکت در صفحه
۲۶۳	۹. حرکت اجسام صلب در سه بعد
۳۱۲	۱۰. مکانیک لاگرانژی
۳۴۱	۱۱. دینامیک سیستمهای نوسانی
۳۷۶	مراجع برگزیده
۳۷۸	پیوست الف
۳۸۰	پیوست ب
۳۸۳	پیوست ج
۳۸۵	پیوست د
۳۸۸	پیوست ه
۳۹۰	پیوست و
۳۹۲	پیوست ز
۳۹۴	پیوست ح
۴۰۱	پاسخ مسائل فرد برگزیده

فهرست

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
۳	۱. مفاهیم بنیادی. بردارها
۳	۱.۱ مقدمه
۴	۲.۱ کمیتها و یکاهای فیزیکی
۶	۳.۱ نمادگذاری. تعاریف و قواعد جبر برداری
۱۱	۴.۱ ضرب اسکالر
۱۵	۵.۱ ضرب برداری
۱۸	۶.۱ مثالی از ضرب برداری: گشتاور یک نیرو
۱۹	۷.۱ ضربهای سه گانه
۲۰	۸.۱ تغییر دستگاه مختصات. ماتریس تبدیل
۲۴	۹.۱ مشتق بردار
۲۴	۱۰.۱ بردار مکان ذره. سرعت و شتاب در مختصات راستگوشه
۳۰	۱۱.۱ مشتق ضرب بردارها
۳۱	۱۲.۱ مؤلفه‌های مماسی و قائم شتاب
۳۳	۱۳.۱ سرعت و شتاب در مختصات قطبی مسطح
۳۶	۱۴.۱ سرعت و شتاب در مختصات استوانه‌ای و کروی

- ۴۱
- ۴۵ ۲. مکانیک نیوتونی. حرکت راستخط ذره
- ۴۵ ۱.۲ قوانین حرکت نیوتون
- ۵۰ ۲.۲ حرکت راستخط. شتاب یکنواخت تحت اثر نیروی ثابت
- ۵۲ ۳.۲ نیروهای وابسته به مکان. مفاهیم انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل
- ۵۷ ۴.۲ نیرو به عنوان تابعی از زمان. مفهوم تکان (ضربه)
- ۵۹ ۵.۲ نیروهای وابسته به سرعت. مقاومت شاره و سرعت نهایی
- ۶۵ مسائل
- ۶۹ ۳. نوسانگر هماهنگ
- ۶۹ ۱.۳ مقدمه
- ۶۹ ۲.۳ نیروی بازگرداننده خطی. حرکت هماهنگ
- ۷۸ ۳.۳ ملاحظات مربوط به انرژی در حرکت هماهنگ
- ۸۰ ۴.۳ حرکت هماهنگ میرا
- ۸۸ ۵.۳ حرکت هماهنگ واداشته. تشدید
- ۹۵ ۶.۳ نوسانگر غیر خطی. روش تقریبات متوالی
- ۹۹ ۷.۳ نیروی محرک غیر سینوسی. سری فوریه
- ۱۰۳ مسائل
- ۱۰۷ ۴. حرکت کلی ذره در سه بعد
- ۱۰۷ ۱.۴ مقدمه. اصول کلی
- ۱۱۰ ۲.۴ تابع انرژی پتانسیل در حرکت سه بعدی. عملگر دل
- ۱۱۵ ۳.۴ نیروهای نوع جداپذیر. حرکت پرتابی
- ۱۲۲ ۴.۴ نوسانگر هماهنگ در دو و سه بعد
- ۱۲۸ ۵.۴ حرکت ذرات باردار در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی
- ۱۳۲ ۶.۴ حرکت مقید ذره
- ۱۳۶ مسائل
- ۱۴۰ ۵. دستگاههای مرجع ناآخت
- ۱۴۰ ۱.۵ دستگاههای مرجع شتابدار و نیروهای آخت
- ۱۴۲ ۲.۵ دستگاههای مختصات چرخان. سرعت زاویه‌ای به مثابه یک کمیت برداری
- ۱۴۹ ۳.۵ دینامیک ذره در دستگاه مختصات چرخان

۱۵۳	۲.۵	آثار چرخش زمین
۱۵۹	۵.۵	آونگ فو کو
۱۶۱		مسائل
۱۶۴	۶.	نیروهای مرکزی و مکانیک سماوی
۱۶۴	۱.۶	مقدمه. قانون گرانش نیوتون
۱۶۵	۲.۶	نیروی گرانشی بین یک کره یکنواخت و یک ذره
۱۶۷	۳.۶	انرژی پتانسیل در میدان گرانشی. پتانسیل گرانشی
۱۷۲	۲.۶	انرژی پتانسیل در میدان مرکزی عمومی
۱۷۳	۵.۶	تکانه زاویه‌ای در میدانهای مرکزی
۱۷۲	۶.۶	قانون مساحتها. قوانین حرکت سیاره‌ای کپلر
۱۷۶	۷.۶	مدار ذره در میدان نیروی مرکزی
۱۷۹	۸.۶	مدارهای میدان عکس مجذوری
۱۸۲	۹.۶	انرژیهای مداری در میدان عکس مجذوری
۱۸۷	۱۰.۶	حدود حرکت شعاعی. پتانسیل مؤثر
۱۸۹	۱۱.۶	دوره تناوب حرکت مداری
۱۹۲	۱۲.۶	حرکت در میدان رانشی عکس مجذوری. پراکندگی ذرات اتمی
۱۹۶	۱۳.۶	مدارهای تقریباً دایره‌ای در میدانهای مرکزی. پایداری
۱۹۸	۱۴.۶	نقاط اوج و حضیض و زوایای اوجی در مدارهای تقریباً دایره‌ای
۲۰۰		مسائل
۲۰۴	۷.	دینامیک سیستمهای ذرات
۲۰۴	۱.۷	مقدمه. مرکز جرم تکانه خطی سیستم
۲۰۷	۲.۷	تکانه زاویه‌ای و انرژی جنبشی سیستم
۲۱۱	۳.۷	حرکت دو جسم برهم کنشی. جرم کاهش یافته
۲۱۵	۴.۷	برخوردها
۲۲۰	۵.۷	برخوردهای مایل و پراکندگی. مقایسه مختصات آزمایشگاهی و مرکزجرم
۲۲۵	۶.۷	حرکت جسم با جرم متغیر. حرکت موشک
۲۲۷		مسائل
۲۳۱	۸.	مکانیک اجسام صلب. حرکت در صفحه
۲۳۱	۱.۸	مرکز جرم جسم صلب
۲۳۵	۲.۸	چرخش جسم صلب حول محور ثابت. گشتاور لختی
۲۳۷	۳.۸	محاسبه گشتاور لختی

۲۴۴	۴.۸	آونگک فیزیکی
۲۵۱	۵.۸	قضیه کلی تکانه زاویه‌ای
۲۵۳	۶.۸	حرکت پوسته‌ای جسم صلب
۲۵۸	۷.۸	ضربه و برخورد در اجسام صلب
۲۶۰		مسائل
۲۶۳	۹.	حرکت اجسام صلب در سه بعد
	۱۰.۹	چرخش جسم صلب حول محور دلخواه. گشتاورها و حاصلضربهای لختی.
۲۶۳		تکانه زاویه‌ای و انرژی جنبشی
۲۷۱	۲.۹	محورهای اصلی جسم صلب. تعادل دینامیکی
۲۷۸	۳.۹	معادلات اویلر حرکت جسم صلب
۲۸۰	۴.۹	چرخش آزاد جسم صلب. ترسیم هندسی حرکت
۲۸۳	۵.۹	چرخش آزاد جسم صلب بایک محور تقارن. بررسی تحلیلی. زوایای اویلری
۲۹۱	۶.۹	حرکت تقدیمی ژيروسکوپی. حرکت فر فره
۲۹۷	۷.۹	قطب‌نمای ژيروسکوپی
۳۰۰	۸.۹	حرکت کلی جسم صلب. چرخ غلتان
۳۰۳	۹.۹	کاربرد ماتریسها در دینامیک جسم صلب. تانسور لختی
۳۰۸		مسائل
۳۱۲	۱۰.	مکانیک لاگرانژی
۳۱۲	۱۰.۱۰	مختصات تعمیم یافته
۳۱۵	۲۰.۱۰	نیروهای تعمیم یافته
۳۱۶	۳۰.۱۰	معادلات لاگرانژ
۳۱۹	۴۰.۱۰	کاربردهای معادلات لاگرانژ
۳۲۶	۵۰.۱۰	تکانه‌های تعمیم یافته. مختصات حذف شدنی
۳۳۱	۶۰.۱۰	اصل وردشی هامیلتون: راه دیگری برای به دست آوردن معادلات لاگرانژ
۳۳۴	۷۰.۱۰	تابع هامیلتونی. معادلات هامیلتون
۳۳۷		مسائل
۳۴۱	۹۱.	دینامیک سیستمهای نوسانی
۳۴۱	۱۰۱۱	انرژی پتانسیل و تعادل. پایداری
۳۴۵	۲۰۱۱	نوسان سیستمی بایک درجه آزادی حول وضعیت تعادل پایدار
۳۴۹	۳۰۱۱	نوسانگرهای هماهنگ جفت شده. مختصات بهنجار (عادی)
۳۵۸	۴۰۱۱	نظریه کلی سیستمهای ارتعاشی

صفحه	عنوان
۳۶۲	۵.۱۱ ارتعاش نخ باردار یا ارتعاش آرایه خطی نوسانگرهای هماهنگ
۳۶۷	جفت شده: بلور يك بعدی
۳۷۲	۶.۱۱ ارتعاش سیستم پیوسته. معادله موج
	مسائل

۳۷۶	مراجع برگزیده
۳۷۸	پیوست الف
۳۸۰	پیوست ب
۳۸۳	پیوست ج
۳۸۵	پیوست د
۳۸۸	پیوست ه
۳۹۰	پیوست و
۳۹۲	پیوست ز
۳۹۴	پیوست ح

۴۰۱	پاسخ مسائل فرد برگزیده
۴۰۵	فهرست راهنما

پیشگفتار

این کتاب اساساً برای درس مکانیک کلاسیک در دوره کارشناسی در نظر گرفته شده است که عموماً دانشجویان رشته فیزیک، علوم وابسته به فیزیک یا مهندسی آن را انتخاب می کنند. فرض بر این است که دانشجوی درس فیزیک عمومی را گذرانده است و حساب دیفرانسیل و انتگرال را نیز به خوبی فرا گرفته باشد. به تأکید توصیه می کنیم که درس حساب دیفرانسیل و انتگرال پیشرفته در ریاضیات که مقداری معادلات دیفرانسیل مقدماتی و ماتریسها را دربرگیرد، پیش از یا همزمان با این درس مکانیک گذرانده شود.

ویرایش چهارم این کتاب اساساً همسان با طرح کلی و مندرجات ویرایش قبلی است، مطالب جدید چندی بر آن افزوده شده است و بخشهای زیادی را بازنگری کرده ایم و بسط داده ایم. نوسانگر هماهنگ به جای اینکه جزئی از فصل مربوط به حرکت راستخط یک ذره باشد، اکنون در فصل جداگانه ای (فصل ۳) مورد بحث قرار می گیرد.

این کتاب با معرفی کوتاهی از اصول جبر برداری و مشتق برداری آغاز می شود. مطلب اخیر طبیعتاً به مفاهیم سرعت و شتاب ذره به عنوان مشتقات اول و دوم بردار مکان نسبت به زمان می انجامد. پس از کسب این آمادگیهای ریاضی، قوانین حرکت نیوتون با تأکید خاص بر حرکت یک بعدی یک نقطه مادی، در فصل ۲ مطرح می شود.

فصل ۳، همان طور که قبلاً گفتیم، کلاً به حرکت نوسانی اختصاص داده می شود و مباحث تشدید، نوسانگر غیر خطی، و کاربردهای سری فوریه در حوزه نوسانگر تحت تأثیر نیروی محرک غیر سینوسی را دربر می گیرد.

حرکت کلی یک ذره در سه بعد موضوع بحث فصل ۴ را تشکیل می دهد. در فصل ۵ به دستگاههای مرجع نالخت، شامل آثار چرخش زمین بر حرکت پرتابی، آونگ فو کو، و مطالبی از این قبیل می پردازیم.

در فصل ۶، دانشجویان ضمن تأکید بر حرکت سیاره ای و ماهواره ای با مکانیک سماوی آشنا می شود. سیستمهای چند ذره ای موضوع بحث فصل ۷ را تشکیل می دهند؛ در این فصل قوانین پایستگی (بقا) در مورد برخوردها و پراکندگی ذرات اتمی اعمال می شوند.

مبحث اجسام صلب را در دو فصل جداگانه مطالعه می‌کنیم. در فصل ۸، پیرامون چرخش حول محور ثابت و حرکت لایه‌ای جسم صلب بحث می‌شود. حالت کلی حرکت جسم صلب در سه بعد را در فصل ۹ مطالعه می‌کنیم، که مطالبی مانند کنش ژيروسکوپی و قطب‌نمای ژيروسکوپی را در بر می‌گیرد.

در فصل ۱۰ با مکانیک لاگرانژی آشنا می‌شویم. معادلات لاگرانژ از قوانین نیوتون و نیز از اصل وردشی هامیلتون استنتاج می‌شوند. واپسین فصل، فصل ۱۱، به مطالعه پایداری تعادل و سیستم‌های نوسان‌کننده اختصاص یافته است. در این فصل برای دستیابی به معادلات دیفرانسیل حرکت انواع مختلف سیستم‌های نوسان‌کننده، از معادلات لاگرانژ بهره می‌گیریم. در قسمت اعظم مثالها و مسائل از یکاهای متریک (SI یا CGS) بهره می‌گیریم، ولی از آنجا که در زندگی روزمره، مخصوصاً در امریکا، با یکاهای غیرمتریک مانند فوت و پوند سروکار داریم، این یکاها را نیز گاهگاهی به کار می‌بریم.

نمونه‌های حل‌شده مسائل تقریباً در پایان همه بخشها گنجانیده شده‌اند، و مسائلی را که دانشجو باید حل کند در پایان هر فصل آورده‌ایم. برخی مسائل عبارت‌اند از قضایای مهمی که اثبات آنها را از دانشجو خواسته‌ایم. نظر مؤلف همواره این بوده است که دانشجو باید در تعمیم مطالب سهیم باشد تا آنکه صرفاً اعدادی را در معادلاتی که قبلاً در متن درس به دست آمده‌اند، قرار دهد. جوابهای مسائل برگزیده با شماره‌های فرد را در آخر کتاب آورده‌ایم. جدولهای موردنیاز و فرمولهای ریاضی نیز در پیوستها گنجانده شده‌اند.

سمرانت. ر. فالوئر