

جی. ال. مریام - ال. جی. کریگ

دینامیک

مکانیک مهندسی

ویرایش ششم

ترجمہ:

مهندس سینا سینایی





کتابخانه ملی ایران



کتابخانه ملی ایران

انتشارات نما، مشهد، تلفن ۸۴۰۷۹۹۵ - تهران، تلفن ۶۶۴۶۴۵۹۳
E-mail: info@namapub.ir <http://www.namapub.ir>

نام کتاب: دینامیک (ویرایش ششم)

نویسنده: جی. ال. مریام - ال. جی. کریگ

ترجمه: مهندس سينا سينايي

شمارگان: ۳۰۰۰ نسخه

چاپ اول ۱۳۸۹ - ۷۶۸ صفحه وزیری

چاپ و صحافی: موسسه چاپ دانشگاه فردوسی

قیمت: ۱۵۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۶۸-۸۴-۹

حق چاپ محفوظ است

مرکز پخش: تهران - انقلاب، خیابان اردیبهشت - کوچه وحید شماره ۷ تلفاکس ۶۶۴۶۴۵۹۳

مرکز پخش: مشهد: قاسم آباد - استاد یوسفی ۱۷ - کتاب جهان نما تلفاکس ۶۶۲۸۲۲۵

کتاب حاضر، ترجمه ویرایش ششم سال ۲۰۰۷ دینامیک است که توسط اساتید مشهور و پرآوازه این رشته، پروفسور مریام و پروفسور کریگ تألیف شده است. ویرایش دوم این کتاب برای اولین بار توسط مرحوم دکتر علی سینایی در سال ۱۳۶۲ ترجمه و منتشر گردید. در پی سال‌های اخیر و با آمدن ویرایش‌های جدیدتر، ادامه کار را مهندس محمد حسین کاشانی حصار و مهندس سينا سینایی بر عهده گرفته و ترجمه حاضر را در اختیار اساتید، دانشجویان و علاقمندان قرار داده‌اند.

با گذشت سال‌ها و تغییرات فراوان علوم مهندسی، محتوای کتاب حاضر همچون گذشته باقی مانده و از بهترین کتاب‌ها در این زمینه شناخته می‌شود. با انتشار ویرایش ششم این کتاب، وظیفه تجدید نظر را مهندس سینایی، فرزند دکتر سینایی، بر عهده گرفت. در این ویرایش تلاش شده است که سبک بیان ترجمه پیشین حفظ شده و نثر روان گذشته ادامه یابد. مدیریت انتشارات نما، بر خود لازم می‌داند از زحمات و تلاش‌های آقایان مهندس کاشانی حصار و مهندس سینایی که بازنگری اثر را بر عهده گرفتند تقدیر و تشکر نماید.

امید است ترجمه روان و شیوای کتاب، همچون گذشته، این اثر را ماندگار نماید.

مقدمه

مهندسی مکانیک زیربنا و چهارچوب اصلی بسیاری از شاخه‌های مهندسی است. بسیاری از مباحث رشته‌های مهندس عمران، هوا فضا، کشاورزی و به خصوص مهندسی مکانیک مبتنی بر اصول استاتیک و دینامیک است. حتی در رشته تحصیلی مانند مهندسی برق، در هنگام بررسی عناصر الکتریکی ابزار رباتیک و یا بررسی یک پروسه تولیدی، در درجه اول، افراد ارتباط خود را با اصول علم مکانیک درمی‌یابند.

بنابراین، اصول مهندسی مکانیک یک امر مهم و ضروری در برنامه آموزش علوم مهندسی است. علاوه بر این، برخی مباحثی که در دوره مهندس مکانیک مطرح می‌شوند، به درک و فهم مسائل و موضوعات مطرح شده برای دانشجویان کمک می‌کنند. از جمله می‌توان به ریاضیات کاربردی، فیزیک و رسم فنی اشاره کرد. این دروس باعث قدرت بخشیدن و افزایش توانایی‌های لازم برای حل مسائل می‌شوند.

فلسفه

هدف اولیه مطالعه مهندسی مکانیک گسترش قدرت پیش‌بینی تأثیر نیروها و حرکت در اجرای کاربردهای یک طرح مهندس است. این توانایی نیازمند تسلط بر ریاضیات محض و فیزیک محض در ارتباط با اصول مکانیک است. در اینجا لازم است که افراد از توانایی بالایی جهت تجسم پارامترهای فیزیکی و تبدیل آنها به مسائل واقعی و درک محدودیت‌ها و الزامات واقعی و عملی برخوردار باشند. یکی از اهداف اولیه علم مکانیک این است که به دانشجویان کمک کند که بتوانند توانایی تبدیل مسائل تئوریک را به مسائل حقیقی بدست آورند. در حقیقت به وجود آوردن یک مدل ریاضی اغلب از حل یک مسئله اهمیت بیشتری داشته است و حداکثر پیشرفت، زمانی محقق می‌شود که اصول و محدودیت‌ها به همراه یکدیگر از طریق علم مهندسی آموخته شوند.

تمایل زیادی در ارائه علوم مکانیک برای استفاده اساسی از مسائل بعنوان ابزاری جهت مصور ساختن نظریه‌ها وجود دارد. این تمایل به مراتب از تمایل به حل مسائل بیشتر است. زمانی که دیدگاه نخست حاکم باشد، مسائل از حالت حقیقی خارج شده و به سمت ایده آل شدن پیش می‌روند. در نتیجه، مسائل ارتباط خود را با علم مهندسی از دست داده و نتایج برای دانشجویان کسل کننده خواهد بود. علاوه بر این، این نگرش باعث می‌شود که دانشجویان توانایی تبدیل مسائل کلاسیک به مسائل حقیقی و تشکیل مدل‌های معنی‌دار را از دست بدهند. نگرش نوع دوم، تعادل بهتری بین نظریه‌های تئوریک و کاربردی برقرار می‌کند. نقش اساسی علاقمندی و هدفمندی در ایجاد انگیزه قوی برای آموزش نیز بسیار مهم است. بعنوان مربی مکانیک، ما باید بر القاء این تفکر که نظریه‌ها می‌توانند تنها بصورت تقریبی با دنیای حقیقی منطبق باشند تلاش کنیم و از تصویر این که دنیای واقعی به نظریه‌های ما شباهت دارد پرهیز کنیم. این تفاوت در فلسفه، اصل و پایه‌ای

است که مهندسی مکانیک را از علم مکانیک متمایز می‌سازد.

در طول چند دهه گذشته تمایلات ناموفقی در تدریس و آموزش مهندسی مکانیک به وجود آمد. در ابتدا به نظر رسید که تأکید بر هندسه، مفاهیم فیزیکی و ریاضیات پیش دانشگاه کاهش پیدا کرده است. سپس نکات آموزشی در درس رسم فنی که به قدرت تجسم و ارائه مسائل مکانیکی کمک می‌کرد، کاهش یافته و در نهایت حذف شد. علاوه بر این، برای پیشبرد سطح ریاضیات جهت برخورد با علم مکانیک، تمایل مبنی بر استفاده از علائم عملیات برداری برای پوشاندن ضعف تجسم هندسی به وجود آمد. علم مکانیک علمی است که ذاتاً به موضوعات هندسی و فیزیکی وابسته بوده و لازم است که ما این توانایی‌ها را در خود افزایش دهیم.

استفاده از کامپیوتر در دستور کار قرار دارد. تجربه فرمولبندی مسائل وقتی دلایل و قضاوت‌ها توسعه یافته باشند، بسیار با ارزش‌تر از حل مسائل هستند. به همین دلیل، استفاده از کامپیوتر باید مورد کنترل قرار گیرد. در حال حاضر بهترین کاری که می‌تواند انجام پذیرد، تهیه ترسیم‌های جسم آزاد و بدست آوردن معادلات حاکم بر مسئله به روش‌های دستی است. از سوی دیگر، معادلات حاکم می‌تواند توسط کامپیوتر بهتر تعیین شود. مسائل کامپیوتری باید از لحاظ مفهومی مبتنی بر حقیقت باشند. در مسائل ساختگی بعضی از پارامترها بدون این که دلیل روشنی داشته باشند متغیر فرض می‌شوند. این دو مسأله، در طراحی مسائل کامپیوتری ویرایش ششم کتاب همواره مورد توجه قرار گرفته است. برای صرفه‌جویی در زمان لازم برای فرمولبندی مسائل، به دانشجویان پیشنهاد می‌شود که تنها به تعدادی محدودی از مسائل کامپیوتری پاسخ دهند. همانند ویرایش‌های گذشته، ویرایش ششم این کتاب نیز با تکیه بر فلسفه‌ای که در بالا گفته شد انجام شده است. کتب مهندسی مکانیک با کلامی بسیار ساده تألیف شده‌اند و تأکید اساسی آنها بر اصول پایه‌ای و بنیادی روش‌ها است. تلاش‌های زیادی شده است که هم ایده‌های اساسی و بنیادی و هم تعداد زیادی از مسائل (که این ایده‌ها می‌توانند راه‌گشای آن مسائل باشند) در این کتب ارائه شود.

ویژگی‌های آموزشی

در این کتاب، موضوعات بصورت خاص مطرح شده و هر بخش از کتاب شامل مبحث ویژه‌ای است. در هر فصل علاوه بر مسائل نمونه، تمرین‌هایی در انتهای هر فصل برای دانشجویان در نظر گرفته شده است که این تمرین‌ها بصورت خاص در ارتباط با مبحث تدریس شده هستند. در انتهای هر فصل مروری کلی از فصل ارائه گردیده که در آن، نکات مهم آن فصل خلاصه شده است. در پایان، مجموعه مسائل دوره‌ای آورده شده است.

مسائل

تعداد ۱۲۱ عدد مسأله نمونه در این کتاب وجود دارد. راه‌حل‌های مسائل نمونه با جزئیات کامل ارائه شده است. به علاوه، نکاتی بعنوان توضیح و تذکر در انتهای هر مسئله نمونه دیده می‌شود. تعداد ۱۵۶۹ تمرین نیز در این کتاب جهت کار در منزل وجود دارد که حدود ۴۰ درصد از این تمرین‌ها در ویرایش ششم جدید هستند. مسائل این کتاب به دو گروه مقدماتی و اصلی تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل مسائل ساده و غیر پیچیده است که به دانشجویان کمک می‌کند تا اعتماد لازم را جهت درک موضوع جدید بدست آورند. گروه دوم شامل مسائلی است که غالباً مشکل و پیچیده باشند. مسائل به گونه‌ای مرتب شده‌اند که به تدریج بر پیچیدگی آنها افزوده می‌شود. مسائل پیچیده‌تر در انتهای تمرین‌های اصلی با علامت مشخص شده‌اند و مسائل کامپیوتری نیز در پایان مسائل دوره‌ای انتهای هر فصل مشخص شده‌اند. پاسخ تمامی مسائلی که شماره فرد دارند و تمام مسائل پیچیده ارائه شده است. به دلیل تشخیص لزوم تأکید بر سیستم واحدها SI، در ازای هر مسأله در آحاد متداول

آمریکایی، تقریباً دو مسأله در آحاد SI ارائه شده است. تقسیم‌بندی مسائل بین این دو سیستم آحاد به گونه‌ای بوده که در برخی موارد از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد تأکید بر سیستم آحاد SI شده است.

یک نکته قابل ملاحظه در ویرایش ششم این است که مانند ویرایش‌های گذشته، تعداد زیادی مسائل پیچیده و مرتبط با طراحی مهندسی وجود دارد. خواه این مسائل بصورت مستقیم مشخص‌کننده این نکته باشند و یا بصورت غیرمستقیم، قطعاً تمامی مسائل با اصول و روند ذاتی طراحی و تحلیل‌های ساختاری مهندسی و سیستم‌های مکانیکی در ارتباط خواهند بود.

ویژگی‌های جدید ویرایش اخیر

- در ویرایش جدید، تمامی ویژگی‌های اساسی ویرایش‌های قدیم حفظ شده و در عین حال، موارد زیر بهبود داده شده‌اند:
- بیان معادلات کار-انرژی و ضربه-مومنوم با رعایت ترتیب زمانی معرفی شده‌اند. در فصل ۳ به ذرات و در فصل ۶ به اجسام صلب پرداخته شده است.
- برای ذرات و اجسام صلب، تأکید بیشتری بر ترسیم سه‌گانه ضربه-مومنوم شده است. این ترسیم‌ها، ترتیب زمانی اندرکنش‌ها را در معادلات ضربه-مومنوم نشان می‌دهد.
- حدود ۴۰ درصد مسائل این ویرایش، جدید هستند. تمامی این مسائل به دقت حل شده‌اند تا صحت آنها تأیید شود.
- چند مسأله نمونه جدید اضافه شده است. جتی مسائل نمونه‌ای که باید به کمک رایانه حل گردند.
- تمامی بخش‌های نظری بازبینی شده‌اند تا دقت و روشنی بیان آنها افزایش یابد.
- نکات کلیدی هر مبحث کاملاً مشخص شده‌اند.
- مرور هر فصل به صورت یک بخش مجزا، معرفی شده است.

ساماندهی

تقسیم‌بندی به گونه‌ای صورت گرفته است که بخش اول کتاب به دینامیک ذرات می‌پردازد و بخش دوم، دینامیک اجسام صلب را مورد بررسی قرار می‌دهد. در هر بخش، سینماتیک نسبت به سینتیک مقدم است. این تقسیم‌بندی به این دلیل است که با مطرح کردن دینامیک ذرات و مطالعه آن، فهم و درک مقدمات پیچیده دینامیک اجسام صلب تسهیل می‌گردد. در فصل یکم، مفاهیم اصلی مورد نیاز برای مطالعه علم دینامیک بیان شده است.

فصل دوم: در مورد سینماتیک حرکت ذرات در دستگاه‌های مختصات متفاوت و همچنین حرکت‌های نسبی و مقید بحث می‌کند.

فصل سوم: بر روی سینتیک ذرات طبق سه روش بنیادی زیر متمرکز می‌شود. (الف) نیرو، جرم، شتاب، (ب) کار و انرژی (پ) ضربه و اندازه حرکت. موضوعات خاص و ویژه برخورد تحت نیروی مرکزی و حرکت نسبی همگی در بخش جداگانه و کاربردی مطرح می‌شوند. این بخش بسته به نظر استاد، می‌تواند مورد تدریس قرار گیرد. با این نظم و ترتیب، توجه دانشجویان بیشتر به سه روش اساسی و بنیادی سینتیک متمرکز می‌شود.

فصل چهارم: بر سیستم‌های ذرات تمرکز دارد که بسط اصول حرکت یک ذره منفرد است و روابط عمومی‌ای که اصول درک دینامیک مدرن است. همچنین این فصل شامل سرفصل‌هایی با موضوعات جریان جرم پایا و جرم متغیر نیز می‌باشد. این موضوعات می‌توانند به صورت اختیاری جهت تدریس در نظر گرفته شوند.

فصل پنجم: در ارتباط با سینماتیک اجسام صلب در حرکت دوبعدی است. در این فصل تأکید بیشتر بر راه‌حل‌هایی است که

از روش هندسه برداری و جبر برداری استفاده می‌کنند. این هدف باعث می‌گردد مفهوم ریاضیات برداری در دانشجویان تقویت گردد.

فصل ششم: به مطالعه سینتیک اجسام صلب می‌پردازد که در آن تأکید زیادی بر معادلات اساسی و بنیادی حاکم بر تمامی حالت‌های حرکت دوبعدی است. همچنین تأکید خاص بر تشکیل یک تساوی مستقیم بین نیروهای حقیقی اعمال شده و زوج نیروها و $\bar{m}\alpha$ است. بدین ترتیب چند کاربردی بودن اصول گشتاور مورد تأکید قرار می‌گیرد و دانشجویان به تفکر در مورد برآیند اثرات دینامیکی تشویق خواهند شد.

فصل هفتم: که می‌تواند بعنوان یک فصل اختیاری مطرح شود در ارتباط با مقدمات اساسی و پایه‌ای دینامیک سه بعدی است که برای حل بسیاری از مسائل عادی و مرسوم در حرکت فضایی کفایت می‌کند. برای دانشجویانی که در آینده در زمینه دینامیک فعالیت‌های بیشتری انجام خواهند داد، این فصل می‌تواند فراهم کننده اطلاعات زیربنایی مفیدی باشد. حرکت ژيروسکوپی با پیشروی پایا به دو روش بررسی شده است. اولین روش از مقایسه بین ارتباط نیروها و بردارهای مومنوم خطی و رابطه گشتاورها و بردارهای مومنوم زاویه‌ای استفاده می‌کند. با این روش دانشجویان می‌توانند حقیقت حرکت ژيروسکوپی در پیشروی پایا را درک کنند و از عهده بیشتر مسائل مهندسی که در ارتباط با مسائل ژيروسکوپی هستند برآیند. در روش دوم از معادلات عمومی تر مومنوم‌ها برای دوران سه بعدی استفاده می‌شود که در آن تمام مؤلفه‌های مومنوم در نظر گرفته شده‌اند.

فصل هشتم: به مسئله ارتعاشات اختصاص یافته است. این فصل می‌تواند بطور خاص برای دانشجویان مهندسی که نیاز به اطلاعاتی در مورد ارتعاشات در هنگام گذراندن درس دینامیک دارند مفید باشد.

گشتاورها و حاصل ضرب‌های اینرسی جرم در ضمیمه (ب) معرفی شده‌اند. ضمیمه (ج) شامل خلاصه‌ای از موضوعات انتخاب شده ریاضی مقدماتی و چندین روش حل عددی است که دانشجویان برای حل مسائلی که نیاز به کامپیوتر دارند باید از آنها کمک بگیرند. جدول‌های مفیدی شامل ثابت‌های فیزیکی، مراکز جرم و گشتاورهای اینرسی در ضمیمه (د) وجود دارند.

ضمیمه‌ها

موارد زیر جهت تکمیل متون کتاب به کار رفته است:

راهنمای آموزش

این راهنما توسط مؤلفین تهیه شده و راه‌حل‌های کلیه مسائل موجود در کتاب در آن موجود است.

منابع آموزشی

حل مسائل مکانیکی به وسیله ...

یک سری از جزوات که معرف نرم‌افزارهای محاسبه گر برای یافتن راه حل‌های مسائل مکانیکی است. این جزوات توسط برابان هارپر در دانشگاه ایالتی اوهایو تهیه شده و براساس نرم‌افزارهای Maple-Mathcad-Matlab هستند.

وبسایت Wiley (www.wiley.com/college/meriam). موارد موجود در این سایت عبارتند از:

- تصاویر دیجیتال برای اکثر شکل‌های موجود در متن کتاب جهت استفاده در مقالات.
- اسلایدهای دیجیتال برای حدود ۶۵ مسائل حل شده، مشابه مسائلی که در متون درس وجود دارند جهت ارائه در

کنفرانس یا مطالعه شخصی دانشجویان.

- حل مسئله بصورت. یک برنامه که بیش از ۴۰۰ مسئله مکانیکی را پیش روی دانشجویان قرار می‌دهد. این برنامه قدم به قدم آنها را همراهی می‌کند. این برنامه توسط آقای جوتورک از انستیتو تکنولوژی روجستر تهیه شده است.
- مسائل نمونه پیشرفته که براساس همان مسائل نمونه متن طرح شده‌اند و نشان می‌دهند که چگونه می‌توان ابزارهای محاسباتی را برای گونه‌های متنوع مسائل بکار برد. این مسائل هم در دسترس دانشجویان بوده و هم برای اساتید موجود هستند. تهیه‌کننده این مسائل نیز برایان هارپر از دانشگاه ایالتی اوهایو است.

فهرست مطالب

بخش اول: دینامیک ذرات		۲ سینماتیک ذرات	
۱ مقدمه‌ای بر دینامیک	۱۷	۱-۲ مقدمه	۳۳
۱-۱ تاریخچه و کاربردهای نوین	۱۷	حرکت ذره	۳۳
تاریخچه دینامیک	۱۷	انتخاب مختصات	۳۴
کاربردهای دینامیک	۱۸	۲-۲ حرکت مستقیم الخط	۳۴
۲-۱ مفاهیم اساسی	۱۸	سرعت و شتاب	۳۵
۳-۱ قوانین نیوتن	۱۹	تعبیر ترسیمه‌ای معادلات حرکت	۳۶
۴-۱ اتحاد	۲۰	انتگرال گیری تحلیلی	۳۷
۵-۱ گرانش	۲۱	مسائل	۴۴
اثر ارتفاع بر گرانش	۲۲	۳-۲ حرکت منحنی الخط در صفحه	۵۴
اثر گردش زمین بر گرانش	۲۲	سرعت	۵۴
مقدار استاندارد	۲۳	شتاب	۵۵
وزن ظاهری	۲۳	تجسم حرکت	۵۶
۶-۱ بُعد (دیمنسیون)	۲۴	۴-۲ مختصات مستطیلی	۵۶
۷-۱ حل مسائل دینامیک	۲۴	نمایش برداری	۵۶
تقریب‌ها در مدل‌های ریاضی	۲۵	حرکت پرتابه‌ها	۵۷
کاربرد اصول اساسی	۲۶	مسائل	۶۱
حل عددی در مقابل حل پارامتری	۲۶	۵-۲ مختصات عمودی و مماسی ()	۶۸
روش‌های حل	۲۶	سرعت و شتاب	۶۸
۸-۱ مرور فصل	۲۷	تفسیر ترسیمی	۷۰
مسائل	۳۰	حرکت دایره‌ای	۷۱
		مسائل	۷۴

۱۳۷	بخش (الف) - نیرو، جرم و شتاب	۸۱	۶-۲ مختصات قطبی
۱۳۸	۲-۳ قانون دوم نیوتن	۸۲	مشتقات بردارهای یکه نسبت به زمان
۱۳۹	دستگاه اینرسی	۸۲	سرعت
۱۴۰	سیستم آحاد	۸۳	شتاب
۱۴۱	آحاد نیرو و جرم	۸۳	تفسیر هندسی
۱۴۱	۳-۳ معادله حرکت و حل مسائل	۸۵	حرکت دایره‌ای
۱۴۱	دو گروه از مسائل دینامیک	۸۹	مسائل
۱۴۲	حرکت مقید و نامقید	۹۷	۷-۲ حرکت منحنی الخط در فضا
۱۴۲	ترسیم جسم آزاد	۹۷	مختصات مستطیلی
۱۴۳	۴-۳ حرکت مستقیم الخط	۹۸	مختصات استوانه‌ای
۱۵۰	مسائل	۹۸	مختصات کروی
۱۶۰	۵-۳ حرکت منحنی الخط	۱۰۳	مسائل
۱۶۵	مسائل	۱۰۸	۸-۲ حرکت نسبی (جابجایی محورها)
	بخش (ب) - کار و انرژی	۱۰۸	انتخاب سیستم مختصات
۱۷۸	۶-۳ کار و انرژی جنبشی	۱۰۸	نمایش برداری
۱۷۸	تعریف کار	۱۰۹	ملاحظات دیگر
۱۷۹	آحاد کار	۱۱۳	مسائل
۱۷۹	محاسبه کار	۱۱۹	۹-۲ حرکت وابسته ذرات مرتبط
۱۸۲	کار و حرکت منحنی الخط	۱۱۹	یکه درجه آزادی
۱۸۳	اصل کار و انرژی جنبشی	۱۱۹	دو درجه آزادی
۱۸۳	مزیت‌های روش کار و انرژی	۱۲۳	مسائل
۱۸۴	توان	۱۲۷	۱۰-۲ مرور فصل
۱۸۴	بازده	۱۲۷	گروه بندی حرکت
۱۹۰	مسائل	۱۲۷	کاربرد محورهاى ثابت
۱۹۹	۷-۳ انرژی پتانسیل	۱۲۷	انتخاب مختصات
۱۹۹	انرژی پتانسیل گرانشی	۱۲۸	تقریب‌ها
۲۰۰	انرژی پتانسیل الاستیکی	۱۲۸	انتخاب روش ریاضی
۲۰۰	معادله کار-انرژی	۱۲۹	مسائل دوره‌ای
۲۰۱	میدان نیروهای پایستار		
۲۰۷	مسائل	۱۳۷	۳ سینتیک ذرات
		۱۳۷	۱-۳ مقدمه

بخش دوم: دینامیک اجسام صلب

۴۶۰	معادله گشتاور در قالبی دیگر	۳۶۱	۵ سینماتیک اجسام صلب در صفحه
۴۶۱	حرکت مقید و نامقید	۳۶۱	۱-۵ مقدمه
۴۶۱	مجموعه اجسام پیوسته به یکدیگر	۳۶۱	فرض جسم صلب
۴۶۲	روش تحلیل	۳۶۲	حرکت در صفحه
۴۶۳	۳-۶ انتقال	۳۶۳	۲-۵ دوران
۴۶۸	مسائل	۳۶۴	روابط حرکت زاویه‌ای
۴۷۶	۴-۶ دوران حول محور ثابت	۳۶۴	دوران حول یک محور ثابت
۴۹۱	۵-۶ حرکت کلی در صفحه	۳۶۹	مسائل
۴۹۱	حل مسائل حرکت در صفحه	۳۷۵	۳-۵ حرکت مطلق
۴۹۹	مسائل	۳۸۰	مسائل
	بخش (ب) کار و انرژی	۳۸۷	۴-۵ سرعت نسبی
۵۰۹	۶-۶ روابط کار انرژی	۳۸۷	سرعت نسبی ناشی از دوران
۵۰۹	کار نیروها و کوپل‌ها	۳۸۹	تفسیر معادله سرعت نسبی
۵۱۰	انرژی جنبشی	۳۸۹	حل معادله سرعت نسبی
۵۱۱	انرژی پتانسیل و معادله کار-انرژی	۳۹۵	مسائل
۵۱۲	توان	۴۰۲	۵-۵ مرکز آبی بدون سرعت (مرکز آبی دوران)
۵۱۸	مسائل	۴۰۲	موقعیت مرکز آبی
۵۲۸	۷-۶ تعیین شتاب از اصل کار انرژی، کار مجازی	۴۰۳	حرکت مرکز آبی
۵۲۸	معادله کار انرژی برای حرکت‌های جزئی	۴۰۶	مسائل
۵۲۹	کار مجازی		
۵۳۲	مسائل		
	بخش (ج) ضربه و مومنتوم		
۵۳۷	۸-۶ معادلات ضربه و مومنتوم	۴۵۵	۶ سینتیک اجسام صلب در صفحه
۵۳۷	مومنتوم خطی	۴۵۵	۱-۶ مقدمه
۵۳۸	مومنتوم زاویه‌ای	۴۵۵	زمینه‌ای برای مطالعه سینتیک
۵۴۰	اجسام صلب متصل به هم	۴۵۶	سازمان فصل
۵۴۰	بقای مومنتوم		بخش الف: نیرو، جرم و شتاب
۵۴۱	برخورد اجسام صلب	۴۵۶	۲-۶ معادلات کلی حرکت
۵۴۶	مسائل	۴۵۷	معادلات حرکت در صفحه
۵۵۶	۹-۶ مرور فصل	۴۵۸	روش دیگر استنتاج
۵۵۷	مسائل دوره‌ای		

۶۲۰	تحلیل ساده شده	۵۶۲	مسائل رایانه‌ای
۶۲۳	تحلیل کاملتر		
۶۲۵	پیشروش پایا		۷ مقدمه‌ای بر دینامیک اجسام صلب
۶۲۶	پیشروش پایا با گشتاور صفر	۵۶۷	در سه بعد
۶۳۲	مسائل	۵۶۷	۷-۱ مقدمه
۶۴۱	۷-۱۲ مرور فصل		بخش (الف) - سینماتیک
۶۴۱	سینماتیک	۵۶۸	۷-۲ انتقال
۶۴۱	سینتیک	۵۶۸	۷-۳ دوران حول محور ثابت
۶۴۲	کاربردها	۵۶۹	۷-۴ حرکت در صفحات متوازی
۶۴۳	مسائل دوره‌ای	۵۶۹	۷-۵ دوران حول نقطه ثابت
		۵۷۰	دوران و بردارهای صحیح
۶۴۹	۸ ارتعاش و پاسخ‌های زمانی	۵۷۱	مرکز آنی دوران
۶۴۹	۸-۱ مقدمه	۵۷۱	مخروط‌های فضایی و جسمی
۶۵۰	۸-۲ ارتعاش آزاد ذرات	۵۷۲	شتاب زاویه‌ای
۶۵۰	معادله حرکت ارتعاش آزاد نامیرا	۵۷۷	مسائل
۶۵۱	پاسخ ارتعاش آزاد نامیرا	۵۸۴	۷-۶ حرکت کلی
۶۵۲	نمایش ترسیمی حرکت	۵۸۴	محورهای مرجع انتقالی
۶۵۲	موقعیت تعادل به عنوان مرجع	۵۸۵	محورهای مرجع دورانی
۶۵۳	معادله حرکت ارتعاش آزاد میرا	۵۹۱	مسائل
۶۵۴	پاسخ ارتعاش آزاد میرا		بخش (ب) - سینتیک
۶۵۴	گروه‌بندی حرکت میرا	۵۹۸	۷-۷ مومنوم زاویه‌ای
۶۵۶	تعیین میرایی توسط آزمایش	۶۰۰	محورهای اصلی
۶۶۱	مسائل	۶۰۱	اصل انتقال برای مومنوم زاویه‌ای
۶۶۹	۸-۳ ارتعاش اجباری ذرات	۶۰۱	۷-۸ انرژی جنبشی
۶۶۹	تحریک هماهنگ	۶۰۵	مسائل
۶۷۱	تحریک پایه	۶۱۱	۷-۹ معادلات مومنوم و انرژی حرکت
۶۷۱	ارتعاش اجباری نامیرا	۶۱۱	معادلات مومنوم
۶۷۲	ارتعاش اجباری میرا	۶۱۲	معادلات انرژی
۶۷۳	ضریب بزرگنمایی و زاویه فاز	۶۱۲	۷-۱۰ حرکت در صفحات موازی
۶۷۵	کاربردها	۶۱۵	مسائل
۶۷۶	تشابه مداری الکتریکی	۶۱۹	۷-۱۱ حرکت زیروسکوپی: پیشروش پایا

۷۰۶	روشهای انرژی	۶۸۰	مسائل
۷۰۷	درجه آزادی	۶۸۵	۴-۸ ارتعاش اجسام صلب
		۶۸۵	ارتعاش دورانی یک میله
۷۱۲	پیوست (الف): گشتاور اینرسی سطح	۶۸۶	ارتعاش دورانی در قیاس با ارتعاش انتقالی
۷۱۳	پیوست (ب): گشتاور اینرسی جرم	۶۹۶	۵-۸ روشهای انرژی
۷۱۳	ب-۱ گشتاور اینرسی جرم حول یک محور	۶۹۶	تعیین معادله حرکت
۷۳۰	ب-۲ حاصل ضربهای اینرسی	۶۹۷	تعیین فرکانس ارتعاش
۷۴۲	پیوست (ج): مباحث منتخب ریاضیات	۷۰۱	مسائل
۷۵۷	پیوست (د): جداول مفید	۷۰۶	۶-۸ مرور فصل
		۷۰۶	ارتعاش ذره
		۷۰۶	ارتعاش جسم صلب