

# مقدمه‌ای بر

# مکانیک کلاسیک

نویسنده:  
دیوید مورین

برگردان:  
محمد بهتاج لجیینی - مسعود مهرابیان

نیاز داشت

## مقدمه

این کتاب از افتخارات دانشجوی سال اول مکانیک دانشگاه هاروارد بزرگ می‌باشد. آن در واقع دو کتاب در یک کتاب است. تقریباً نصف هر فصل به صورت یک کتاب درسی معمولی است که شامل متنی همراه با تمرینات مفید و آموزنده‌ای که به عنوان تکلیف واگذار شده است می‌باشد. نصف دیگر به صورت دسته‌ای از مسائل (به همراه روش حل)‌ای است که درجه دشواری آنها با یکدیگر متفاوت می‌باشد. به نظر من حل مسائل بهترین روش یادگیری است پس اگر دنبال منبعی برای سوالات باشید این مدت‌ها شما را سرگرم خواهد کرد. این کتاب، کتاب عجیبی است پس اجازه دهید در همین اول تصورم را در مورد چگونگی استفاده این کتاب بگویم.

• به عنوان متن اصلی افتخارات دانشجوی سال اول مکانیک، انگیزه اصلی من در نوشتن این کتاب این بود که هیچ کتاب مناسبی برای سال اول رشته مکانیک هاروارد وجود نداشت. بنابراین پس از نه سال استفاده از نسخه‌های به روز شده در کلاس، این کتاب نتیجه‌ی نهایی می‌باشد.

• به عنوان یک متن تکمیلی برای دوره‌های استاندارد دانشجوی سال اول رشته فیزیک، اگرچه این کتاب با مکانیک شروع می‌شود و یک کتاب کامل است اما روی موضوعات مقدماتی به اندازه کتاب سال اول وقت صرف نشده است. بنابراین من استفاده از این کتاب را به عنوان تنها کتاب درسی سال اول رشته مکانیک پیشنهاد نمی‌کنم. به هر حال این کتاب یک مکمل کامل مفیدی هم به عنوان کتاب تمرین برای تمام دانشجویان و هم به عنوان کتاب پیشرفتی ای برای دانشجویانی که می‌خواهند در مورد موضوعات خاصی بیشتر بدانند می‌باشد.

• به عنوان متن مکمل برای مکانیک دوره‌های سطح بالا، یا متن اصلی که با کتاب دیگری با موضوعات اضافی کامل شده که اغلب دوره‌های سطح بالا را پوشش می‌دهد از قبیل معادلات هامیلتون، سیالات، گازها، آنالیز فوریه و کاربردهای الکتروسیسته و مغناطیس و غیره. با تمام مثالهای حل شده و بحث‌های عمیق، نمی‌توان این کتاب را با هیچ کتاب دیگری مقایسه کرد.

• به عنوان یک کتاب مسائل برای هر کسی که می‌خواهد مسائل فیزیک را حل کند. این کتاب در محدوده دانش آموزان دبیرستان، کسی که به نظر من همواره یک توب در دست دارد، تا دانشجویان فارغ التحصیلی که می‌خواهند روی برخی مسائل پیچیده متوجه شوند یا استادی که به دنبال یک منبع مسائل برای استفاده در کلاسشنan هستند، و در نهایت برای کسی که می‌خواهد فیزیک را با حل مسائل یاد بگیرد می‌باشد. می‌توان این کتاب را به عنوان کتاب مسائلی در نظر گرفت که هر نوعی از مسائل را معرفی می‌کند. با حدود ۲۵۰ مسئله (به همراه حلشان) و ۳۵۰ تمرین (بدون حل) به علاوه مثالهای داخل متن، فکر می‌کنم ارزش پولی را که صرف این کتاب کرده‌اید دریافت خواهد کرد. این کتاب شامل ۶۰۰ شکل، نه نمایش نسبت طلابی و یک هنر در مورد  $e^{-\pi}$  می‌باشد.

پیش‌نیازهای این کتاب عبارتند از مبانی مکانیک دیبرستان (نیازی به الکتریسیته و مغناطیس نیست) و محاسبات تک متغیره. دو استثناء جزئی وجود دارد. اول اینکه چند قسمت بر اساس محاسبات چند متغیره هستند که بیشتر در بخش ۵-۳ (که شامل کرل می‌باشد) وجود دارد اما می‌توان از آن چشمپوشی کرد. به جز آن، چندین مشتق جزئی، ضرب نقطه‌ای و ضرب برداری نیز در این کتاب به چشم می‌خورد. دوم اینکه چندین بخش (۴-۵، ۹-۲ و ۹-۳) مبتنی بر ماتریس‌ها و موضوعات اساسی دیگری از جبر خطی می‌باشند اما یک درک اساسی از ماتریس‌ها اینجا کافی است.

خلاصه‌ای از مطالب این کتاب به صورت زیر است. فصل ۱ روش‌های مختلف حل مسائل را بیان می‌کند. این موضوع بسیار مهمی است بنابراین اگر شما بخواهید تنها یک فصل این کتاب را بخوانید، این فصل را انتخاب کنید. شما باید در حین مطالعه این کتاب، این روش‌ها را همواره در ذهن خود داشته باشید. فصل ۲ در مورد استاتیک است. بیشتر آن برای شما آشناست اما شما با برخی مسائل جالب مواجه خواهید شد. در فصل ۳ با نیروها و چگونگی کاربرد رابطه  $F=ma$  آشنا خواهیم شد. در اینجا برای حل معادلات دیفرانسیلی ساده به کمی ریاضیات نیاز خواهیم داشت. فصل ۴ به نوسانات و نوسانگرهای جفت شده می‌پردازد، در اینجا هم برای حل معادلات دیفرانسیلی خطی به کمی ریاضی نیاز خواهیم داشت و هیچ چاره‌ی دیگری نداریم. فصل ۵ به بقای انرژی و تکانه می‌پردازد.

در فصل ۶ روش لاگرانژی را معرفی می‌کنیم که به احتمال زیاد برای شما تازگی دارد. در ابتدا کمی سخت به نظر می‌رسد اما در واقع سخت نیست.

مفاهیم مختلفی در دل این موضوع وجود دارد اما نکته جالب این است که روش بسیار ساده است. وضعیت در اینجا مثل مشتق‌گیری می‌باشد. مفاهیم اساسی وجود دارد که این تئوری بر پایه‌ی آنها استوار می‌باشد اما عمل مشتق‌گیری نسبتاً سرراست است.

فصل ۷ در مورد نیروهای مرکزی و حرکت سیاره‌های است. فصل ۸ حالت ساده‌تر اندازه حرکت زاویه‌ای را مورد بررسی قرار می‌دهد که جهت بردار اندازه حرکت زاویه‌ای ثابت است.

در این کتاب، نکات بسیاری بیان شده است که نسبت به متن، کمی کوچکتر نوشته شده‌اند.

آنها با عبارت "نکته" شروع و به علامت ♣ ختم می‌شوند. هدف این نکات این است که مطلبی که نیاز به گفته شدن دارد بدون اینکه اختلالی در روند بحث ایجاد کند بیان شود. بعضًا اینها اضافی هستند اما باز هم درک آنها مفید می‌باشد. آنها معمولاً جدا از بقیه‌ی متن هستند. در مورد مطالبی که به نظرم جالب هستند اطلاعات اضافی بیان می‌کنم ولی ممکن است شما را سردرگم کند. در بیشتر موارد، این نکات به مطلبی اشاره دارند که در بحث پیش می‌آیند. من معمولاً از نکات در انتهای حل‌ها تا مسائل استفاده کرده‌ام چون آنجا جایی است که واضح ترین کار، بررسی حالت‌های مقید می‌باشد (این موضوع در فصل ۱ توضیح داده شده است). با این وجود در این حالت، نکات اضافی نیستند زیرا بررسی حالت‌های مقید جواب کاری است که شما همواره باید

انجام دهید.

همانطوری که در بالا ذکر شد این کتاب شامل مسائل بسیاری است. برخی از آنها که دارای حل هستند با عنوان "مسائل" نامگذاری شده‌اند و برخی دیگر که حل نشده‌اند با عنوان "تمرین" نامگذاری شده‌اند به عنوان تکلیف می‌باشند. هیچ فرقی بین این دو نوع مسائل وجود ندارد به جز وجود حل برخی از آنها. من به دو دلیل مسائل را حل کردم. اول اینکه دانشجویان همواره می‌خواهند تمرینات اضافی داشته باشند که حل شده باشد. دوم اینکه نوشتمن آنها برای من لذت بخش بوده است. اما یک اختصار در مورد این مسائل و تمرینات: بعضی از آنها ساده‌اند اما برخی بسیار مشکل هستند. من فکر می‌کنم برایتان جالب خواهند بود اما اگر نتوانستید حلشان کنید نامید نشوید. برخی‌ها چنان طراحی شده‌اند که نیاز به ساعتها، روزها، هفته‌ها یا ماه‌ها فکر کردن دارند (می‌توانم قسم بخورم!).

مسائل (و تمرینات) ی با تعدادی ستاره علامتگذاری شده‌اند. مسائل پیچیده‌تر ستاره‌های بیشتری (از صفر تا چهار ستاره) دارند. البته ممکن است شما در مورد سخت بودن مسائل با من هم عقیده نباشید اما به نظر من طرحی با وزن اختیاری از هیچ چیز بهتر است. به نظر من مسائلی که دارای یک ستاره هستند مسائلی هستند که کمی مشکل بوده و حل آنها نیاز به کمی فکر کردن دارد اما مسائلی که چهار ستاره دارند واقعاً سخت و پیچیده می‌باشند. اگر چند تا از آنها را حل کنید متوجه مظورم خواهید شد. حتی اگر مفهوم مطالبی که در متن آورده شده را کامل متوجه باشید، هنوز قادر به حل مسائل چهار ستاره (و اکثر سه ستاره‌ها) نخواهید بود. اما چرا باید اینگونه باشد؟ هدف من ایجاد یک حد بالای غیر قابل دسترس در مورد تعداد (و سختی) مسائل بود، چون اگر بخواهید تمام مسائل را حل کنید باید شرایط سختی وجود داشته باشد. امیدوارم که موفق شده باشم.

در حل مسائل، سریع به جوابها نگاه نکنید. ایرادی ندارد که مسئله را کنار بگذارید و پس از مدت‌ها دوباره سراغ آن بروید. در واقع این بهترین روش برای یادگیری مسائل می‌باشد. اگر در ابتدا مستقیماً سراغ جواب مسئله بروید آن را خراب کرده‌اید.

نکته: این فرصتی برای بیان اولین نکته می‌باشد. حقیقتی که معمولاً فراموش می‌شود این است که شما باید روش (های) صحیح زیادی برای حل مسئله بلد باشید، همچنین روش‌های اشتباه را نیز باید بدانید. به علاوه هنگامی که با یک مسئله جدید مواجه می‌شوید ممکن است چندین روش که مناسب به نظر می‌رسند وجود داشته باشد اما شما قادر به تشخیص روش صحیح نباشید. کمی کار کردن با مسئله منجر می‌شود که برخی روش‌های اشتباهی را انتخاب کنید اما این بخش ضروری در یادگیری مسئله می‌باشد. برای درک چیزی شما تنها لازم نیست راه‌های صحیح را بلد باشید بلکه باید راه‌های اشتباه را نیز بشناسید. یادگیری، مستلزم تلاش جدی، دچار اشتباه شدن و زحمت کشیدن است. افسوس که هیچ روش میانبری برای درک مفاهیم فیزیک وجود ندارد.

هر کتابی که نوشتن آن ده سال به طول انجامیده باشد نیروی انسای زیادی به کار برده است. من مخصوصاً از Howard Georgi به خاطر کمکهای زیاد و پیشنهادات و ایدههایی که دادند تشکر می‌کنم و از Don Page نیز به خاطر اینکه این کتاب را در نسخه‌های قبلی ویرایش کردند تشکر می‌کنم. همکاران و دوستان دیگری که در این کتاب مرا همراهی کردند عبارتند از:

*John Bechhoefer, Wes Campbell, Michelle Cyrier, Alex Dahlen, Gary Feldman, Lukasz Fidkowski, Jason Gallicchio, Doug Goodale, Bertrand Halperin, Matt Headrick, Jenny Hoffman, Paul Horowitz, Alex Johnson, Yevgeny Kats, Can Kilic, Ben Krefetz, Daniel Larson, Jaime Lush, Rakhi Mahbubani, Chris Montanaro, Theresa Morin, Megha Padi, Dave Patterson, Konstantin Penanen, Courtney Peterson, Mala Radhakrishnan, Esteban Real, Daniel Rosenberg, Wolfgang Rueckner, Aqil Sajjad, Alexia Schulz, Daniel Sherman, Oleg Shpyrko, David Simmons-Duffin, Steve Simon, Joe Swingle, Edwin Taylor, Sam Williams, Alex Wissner-Gross and Eric Zaslow.*

در نهایت و مهمتر از همه، از تمامی دانشجویانی که در دهه‌ی قبل به من کمک کردند تشکر می‌کنم. امیدوارم از این کتاب لذت ببرید.

## فهرست مطالب

عنوان		صفحه
فصل اول / روش‌های حل مسائل		۱۳
۱-۱	روش‌های کلی	۱۳
۱-۲	واحدها و تحلیل‌های ابعادی	۱۶
۱-۳	تقریب‌ها و حالات مقید	۲۰
۱-۴	حل معادلات دیفرانسیلی عددی	۲۵
۱-۵	مسائل	۲۸
بخش ۱-۲	: واحدها، تحلیل‌های ابعادی	۲۸
بخش ۱-۳	: تقریب‌ها و حالات محدود	۲۹
بخش ۱-۴	: حل معادلات دیفرانسیل عددی	۲۹
۱-۶	تمرینات	۳۰
بخش ۱-۲	: واحدها و تحلیل‌های ابعادی	۳۰
بخش ۱-۳	: تقریب‌ها، حالات مقید	۳۱
بخش ۱-۴	- حل معادلات دیفرانسیل عددی	۳۲
۱-۷	حل‌ها	۳۳
فصل دوم / استاتیک		۳۹
۲-۱	نیروهای متعادل	۳۹
۴۰	کشش (تنش)	۴۰
۴۰	نیروی عمودی	۴۱
۴۱	اصطکاک	۴۱
۴۱	گرانش	۴۱
۴۴	۲-۱ گشتاورهای تعادلی	۴۴
۴۹	۲-۲ مسائل	۴۹
بخش ۲-۱	: موازنی نیروها	۴۹
بخش ۲-۲	: گشتاورهای تعادلی	۵۲
۵۵	۲-۳ تمرین‌ها	۵۵
۵۵	بخش ۲-۱: موازنی نیروها	۵۵
۵۷	بخش ۲-۲: موازنی گشتاورها	۵۷
۶۰	۲-۵ حل‌ها	۶۰

۷۹ .....	فصل سوم / استفاده از $F=ma$
۷۹ .....	۱-۳ قوانین نیوتن .....
۸۰ .....	قانون اول .....
۸۰ .....	قانون دوم .....
۸۲ .....	قانون سوم .....
۸۳ .....	۲-۳ نمودارهای جسم آزاد .....
۸۹ .....	۳-۲ حل معادلات دیفرانسیلی .....
۹۴ .....	۳-۴ حرکت پرتابی .....
۹۸ .....	۳-۵ حرکت در صفحه، مختصات قطبی .....
۱۰۰ .....	۳-۶ مسائل .....
۱۰۰ .....	بخش ۲-۳: نمودارهای آزاد .....
۱۰۲ .....	بخش ۳-۲: حل معادلات دیفرانسیل .....
۱۰۳ .....	بخش ۴-۳: حرکت پرتابی .....
۱۰۵ .....	بخش ۳-۵: حرکت در صفحه، مختصات قطبی .....
۱۰۶ .....	۳-۷ تمرین ها .....
۱۰۶ .....	بخش ۲-۳: نمودارهای جسم آزاد .....
۱۰۹ .....	بخش ۳-۲: حل معادلات دیفرانسیلی .....
۱۰۹ .....	بخش ۴-۳: حرکت پرتابی .....
۱۱۲ .....	بخش ۳-۵: حرکت در صفحه، مختصات قطبی .....
۱۱۶ .....	۳-۸ حل ها .....
۱۴۱ .....	فصل چهارم / نوسان .....
۱۴۱ .....	۴-۱ معادلات دیفرانسیل خطی .....
۱۴۵ .....	۴-۲ حرکت هماهنگ ساده .....
۱۴۹ .....	۴-۳ حرکت هماهنگ میرا .....
۱۵۰ .....	۴-۴ حرکت هماهنگ واداشته (و میرا) .....
۱۵۹ .....	۴-۵ نوسان گرهای جفت شده .....
۱۶۳ .....	۴-۶ مسائل .....
۱۶۳ .....	بخش ۴-۱: معادلات دیفرانسیل خطی .....
۱۶۳ .....	بخش ۴-۲: حرکت هماهنگ ساده .....
۱۶۴ .....	بخش ۴-۳: حرکت هماهنگ میرا .....

۱۶۴ .....	بخش ۴-۴: حرکت هماهنگ تحریک شده (میرا)
۱۶۴ .....	بخش ۴-۵: نوسانگرهای جفت شده
۱۶۵ .....	۴-۷ تمرین‌ها
۱۶۵ .....	بخش ۴-۱: معادلات دیفرانسیل خطی
۱۶۶ .....	بخش ۴-۲: حرکت هماهنگ ساده
۱۶۸ .....	بخش ۴-۳: حرکت هماهنگ میرا
۱۶۹ .....	بخش ۴-۴: حرکت هماهنگ تحریک شده (و میرا)
۱۷۰ .....	بخش ۴-۵: نوسانگرهای جفت شده
۱۷۱ .....	۴-۸ حل‌ها
۱۸۷ .....	فصل پنجم / بقای انرژی و تکانه
۱۸۸ .....	۵-۱ بقای انرژی در یک بعد
۱۹۲ .....	نیروهای پایستار
۱۹۶ .....	۵-۲ نوسانات کوچک
۱۹۸ .....	۵-۳ بقای انرژی در سه بعد
۲۰۲ .....	۵-۴ گرانش
۲۰۷ .....	۵-۵ تکانه
۲۱۳ .....	۵-۶ چارچوب مرکز جرم
۲۱۶ .....	۵-۷ برخوردها
۲۲۰ .....	۵-۸ فرآیندهای ذاتاً غیرکشسان
۲۲۷ .....	۵-۹ مسائل
۲۲۷ .....	بخش ۵-۱: بقای انرژی در یک بعد
۲۲۸ .....	بخش ۵-۲: نوسانات کوچک
۲۲۹ .....	بخش ۴-۵-۱: گرانش
۲۲۹ .....	بخش ۵-۵-۱: تکانه
۲۳۱ .....	بخش ۵-۷: برخوردها
۲۳۳ .....	بخش ۵-۸: فرآیندهای غیرکشسان ذاتی
۲۳۴ .....	۵-۱۰ تمرین‌ها
۲۳۴ .....	بخش ۵-۱: بقای انرژی در یک بعد
۲۴۰ .....	بخش ۴-۵: گرانش
۲۴۴ .....	بخش ۵-۵: تکانه

۲۴۵	بخش ۷-۵: برخوردها
۲۴۹	بخش ۸-۵-۵- فرآیندهای غیرکشسان ذاتی
۲۵۱	۵-۱۱ حل ها
۲۸۵	فصل ششم / روش لاگرانژ
۲۸۵	۶-۱- معادلات اویلر - لاگرانژ
۲۸۹	۶-۲- اصل عمل ثابت
۲۹۵	۶-۳- نیروهای مقید
۲۹۸	۶-۴- تغییر مختصات
۳۰۲	۶-۵- قوانین بقا
۳۰۳	۶-۵-۲- بقای انرژی
۳۰۶	۶-۶- قضیه‌ی نودر
۳۰۹	۶-۷- نوسانات کوچک
۳۱۳	۶-۸- دیگر کاربردها
۳۱۷	۶-۹- مسائل
۳۱۷	بخش ۱-۶- معادلات اویلر - لاگرانژ
۳۱۹	بخش ۲-۶: اصل عمل ثابت
۳۱۹	بخش ۳-۶: نیروهای قیدی
۳۱۹	بخش ۵-۶: قوانین بقاء
۳۱۹	بخش ۶-۶: قضیه‌ی نودر
۳۱۹	بخش ۷-۶: نوسانات کوچک
۳۲۳	۱۰- تمرین‌ها
۳۲۳	بخش ۱-۶: معادلات اویلر - لاگرانژ
۳۲۵	بخش ۲-۶: اصل عمل ثابت
۳۲۶	بخش ۳-۶: نیروهای قیدی
۳۲۷	بخش ۵-۶: قوانین بقا
۳۱۷	بخش ۶-۶: قضیه‌ی نودر
۳۱۷	بخش ۷-۶: نوسانات کوچک
۳۱۹	۱۱- حل ها
۳۶۳	فصل هفتم / نیروهای مرکزی
۳۶۳	۱- بقای تکانه زاویه‌ای

۳۶۵	۷-۲ پتانسیل مؤثر
۳۶۷	۷-۲ حل معادلات حرکت
۳۶۸	۷-۳-۱ یافتن $r(t)$ و $\theta(t)$
۳۶۹	۷-۳-۲ یافتن $r(\theta)$
۳۶۹	۷-۴ گرانش، قانون کپلر
۳۶۹	۷-۴-۱ محاسبه $r(\theta)$
۳۷۱	۷-۴-۲ مدارها
۳۷۲	۷-۴-۳ اثبات مدارهای مخروطی
۳۷۴	۷-۴-۴ قوانین کپلر
۳۷۶	۷-۵-۴ جرم کاهنده
۳۷۹	۷-۵-۵ مسائل
۳۷۹	بخش ۷-۲: پتانسیل مؤثر
۳۸۰	بخش ۷-۴: گرانش، قوانین کپلر
۳۸۱	۷-۶ تمرین‌ها
۳۸۱	بخش ۷-۱: بقای تکانه‌ی زاویه‌ای
۳۸۱	بخش ۷-۲: پتانسیل مؤثر
۳۸۱	بخش ۷-۴: گرانش، قوانین کپلر
۳۸۳	۷-۷ حل‌ها
۳۹۵	فصل هشتم / تکانه‌ی زاویه‌ای - قسمت ( $\hat{L}$ ثابت)
۳۹۶	۸-۱ جسم یعنی در صفحه‌ی $X-Y$
۳۹۷	۸-۱-۱ چرخش حول محور $Z$
۳۹۸	۸-۱-۲ حرکت کلی در صفحه $x-y$
۴۰۱	۸-۱-۳ قضیه‌ی محورهای موازی
۴۰۳	۸-۱-۴ قضیه‌ی محورهای متعامد
۴۰۳	۸-۲ اجسام غیر مسطح
۴۰۵	۸-۳ محاسبه‌ی گشتاور اینرسی
۴۰۵	۸-۳-۱ چند مثال
۴۰۹	۸-۳-۲ یک حقه‌ی جالب
۴۱۰	۸-۴ گشتاور
۴۱۰	۸-۴-۱ جرم‌های نقطه‌ای، مبدأ ثابت

۴۱۱ .....	۸-۴-۲ جرم‌های بسیط، مبدأ ثابت
۴۱۲ .....	۸-۴-۳ جرم بسیط، مبدأ غیر ثابت
۴۱۶ .....	۵-۸ برخورد
۴۲۱ .....	۸-۶ تکانه‌ی زاویه‌ای
۴۲۲ .....	۸-۷ مسائل
۴۲۲ .....	بخش ۱-۸: جسم پهن در صفحه‌ی $x - y$
۴۲۴ .....	بخش ۳-۸: محاسبه‌ی گشتاورهای اینرسی
۴۲۵ .....	بخش ۴-۸: گشتاور
۴۲۷ .....	بخش ۵-۸: برخوردها
۴۲۸ .....	بخش ۶-۸: تکانه‌ی زاویه‌ای
۴۲۹ .....	۸-۸ تمرین‌ها
۴۲۹ .....	بخش ۱-۸: جسم پهن در صفحه‌ی $x - y$
۴۳۰ .....	بخش ۲-۸: اجسام غیر مسطح
۴۳۱ .....	بخش ۳-۸: محاسبه‌ی گشتاورهای اینرسی
۴۳۱ .....	بخش ۴-۸: گشتاور
۴۳۷ .....	بخش ۵-۸: برخوردها
۴۴۰ .....	بخش ۶-۸-۸-۶- تکانه زاویه‌ای
۴۴۲ .....	۸-۹ حل‌ها