

جبر خطی
نخستین درس با کاربردهای آن
در
معادلات دیفرانسیل

نویسنده:

تام ام. آوستا

مترجمان:

محسن آوجی

فاطمه رخشان

سرشناسه	: آپوستل، تام إم. Apostol, Tom M.
عنوان و نام پدیدآور	: جبر خطی نخستین درس با کاربردهای آن در معادلات دیفرانسیل/ نویسنده: تام إم. آپوستل؛ مترجمان: محسن آوجی، فاطمه رخشان.
مشخصات نشر	: تبریز: انتشارات فادیا، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۳۳ ص.: مصور.
شابک	: ۲۵۰۰۰۰ ریال. 978-600-96424-3-4
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا.
یادداشت	: Linear Algebra : A First Course with Applications to Differential Equations
موضوع	: نمایش.
موضوع	: جبر خطی.
موضوع	: Linear algebra :
موضوع	: معادله‌های دیفرانسیل.
موضوع	: Differential equations :
شناسه افزوده	: آوجی، محسن، ۱۳۵۷ -، مترجم.
شناسه افزوده	: رخشان، فاطمه، ۱۳۶۰ -، مترجم.
رده‌بندی کنگره	: QA۱۸۴
رده‌بندی دیویی	: ۵۱۲/۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۲۸۲۶۲۰

نام کتاب: جبر خطی نخستین درس با کاربردهای آن در معادلات دیفرانسیل
مترجمان: محسن آوجی، فاطمه رخشان
ناشر: انتشارات فادیا
حروف چینی: واحد کامپیوتر انتشارات فادیا
تیراژ: ۱۰۰۰

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵

قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-96424-3-4

شابک: ۴ - ۳ - ۹۶۴۲۴ - ۶۰۰ - ۹۷۸

مراکز پخش و فروش: انتشارات فروش

دفتر و فروشگاه مرکزی: تبریز- خیابان امام خمینی، نرسیده به چهارراه آبرسان، نبش کوی بزرگمهر. تلفن: ۳۳۳۶۹۵۲۵ (۰۴۱). فاکس: ۳۳۳۵۷۰۶۱ (۰۴۱).
دفتر پخش تهران: ۶۶۴۶۱۴۶۰ (۰۲۱).

پیشگفتار مؤلف

چند سال بود که نویسنده تلاش داشت تا یک جزوهٔ درسی در زمینهٔ جبرخطی بر مبنای موضوعات و ایش دوم کتاب دوجلدی حساب دیفرانسیل و انتگرال خود تألیف نماید، کتابی که در آن مباحث حساب توابع یک یا چندمتغیره همراه با معادلات دیفرانسیل، سریهای نامتناهی، جبرخطی، احتمالات را با زبانی ساده مطرح شده است. این خواسته تا حدی توسط دیگران انجام گرفت، یعنی زمانی که این دو جلد پس از ترجمه به زبان ایتالیایی در سه جلد* ارائه شد به طوری که جلد دوم آن شامل موضوعات در زمینهٔ جبرخطی بود. کتاب حاضر به گونه‌ای طراحی شده که مستقل از مباحث سه‌جلدی حساب دیفرانسیل و انتگرال است.

به منظور ایجاد هماهنگی میان سطوح علمی مختلف افراد و گرایشهای متفاوت آنها، این کتاب با مروری بر پیش‌نیازها شروع می‌شود (فصل ۰). این مرور به دو بخش تقسیم می‌شود: یکی مقدمات قبل از حساب دیفرانسیل و انتگرال که برای فهم موضوعات فصلهای ۱ تا ۷ ضروری است و دیگری پیش‌نیازهای حساب دیفرانسیل و انتگرال که برای فهم مفاهیم فصلهای ۸ تا ۱۰ موردنیاز است. فصلهای ۱ و ۲ به معرفی جبر برداری در فضای $\mathbb{R}^n$ بعدی با کاربردهایش در هندسه تحلیلی می‌پردازد. این دو فصل، انگیزه و مثالهای مهم را با بی‌نشان دادن جنبهٔ تجرید جبرخطی، که در فصلهای ۳ تا ۷ ارائه شده‌اند، فراهم می‌کند.

فصل ۳ در بارهٔ فضاهای خطی، زیرفضاها، استقلال خطی، پایه‌ها و به هم ضربهای داخلی، تعامد و فرایند گرام-اشمیت بحث می‌کند. فصل ۴ تبدیلات خطی و ماتریسها را با کاربردهای آنها در دستگاههای معادلات خطی را معرفی می‌کند. فصل ۵ به دترمینانها اختصاص داده شده است که به روش اصل موضوعی همراه با ویژگیهایش معرفی می‌شود. این شیوه تا حدی ساده‌تر از آن روشی است که در کتاب حساب دیفرانسیل و انتگرال نویسنده مورد استفاده قرار گرفته است.

* Calcolo, Volume primo: Analisi 1; Volume Secondo: Geometria; Volume Terzo: Analisi 2. Published by Editore Boringhieri, 1977.

فصل ۶ به مقادیر ویژه و بردارهای ویژه می‌پردازد و شامل قضیه مثلثی کردن است که در استنتاج قضیه کیلی-همیلتون مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، یک بخش مختصر درباره شکل کانونی ژردن وجود دارد. فصل ۷، بحث مقدارهای ویژه و بردارهای ویژه را در فضای اقلیدسی با کاربردهایش در صورتهای درجه دوم و مقاطع مخروطی ادامه می‌دهد.

در فصلهای ۳ تا ۷، مفاهیم حساب دیفرانسیل و انتگرال به ندرت در برخی مثالهای توضیحی و تصویری یا در برخی تمرینها ظاهر می‌شود؛ این موارد به طور صریح مشخص شده‌اند و بدون آنکه نیازی به پیوستگی مطالب وارد شود، می‌توانند حذف شوند و یا مطالعه آنها به تعویق بیفتد. این بخش از کتاب برای نخستین درس در جبرخطی، که به پیش‌نیازهای حساب دیفرانسیل و انتگرال احتیاج ندارد، مناسب است. به هر حال، سطح مطالب ارائه شده در این بخشها برای خوانندگانی که راجع به مهارتهای ریاضی را در درسی مانند حساب دیفرانسیل و انتگرال مقدماتی یا ریاضیات متدهی کسب کرده‌اند، مناسبتر است.

فصلهای ۸، ۹ و ۱۰ قطعاً از بخش زمینه حساب دیفرانسیل و انتگرال دارند. فصل ۸ مفاهیم جبرخطی را در مورد معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه n -ام با تأکید ویژه بر معادلات با ضرایب ثابت به کار می‌برد. فصل ۹ از حساب ماتریسی برای بحث درباره دستگاههای معادلات دیفرانسیل استفاده می‌کند. این فصل روی ماتریس نمایی متمرکز می‌شود که ویژگیهای با یک تأثیر متقابل بین جبرخطی و حساب ماتریسی به دست می‌آیند. فصل ۱۰ به قضیه‌های وجود و یکتایی دستگاههای معادلات دیفرانسیل با استفاده از روش فریبهای متوالی بیکارد، که با استفاده از عملگرهای انقباضی نیز قابل بیان است، می‌پردازد.

هرچند بیشتر مطالب این کتاب از کتاب حساب دیفرانسیل و انتگرال نوبنده استخراج شده است، اما برخی موضوعات آن مورد تجدیدنظر یا نوآرایی قرار گرفته است و برخی مباحث و تمرینهای جدید به آن اضافه شده است.

این کتاب درسی می‌تواند توسط دانشجویان سال اول یا دوم، اشخاصی با رده سنی بالاتر، که ممکن است سالها قبل ریاضیات را بدون یادگیری جبرخطی مطالعه نموده، و همچنین افرادی که اکنون مایلند مفاهیم پایه‌ای را بدون تأکید اضافی روی تجرید یا رسمی‌سازی یاد بگیرند، مورد استفاده قرار بگیرد.

پیشگفتار مترجمان

از لحاظ تاریخی اصطلاح «جبرخطی» در اصل برای مطالعه معادله‌های خطی، صورتهای دوخطی و درجه دوم، ماتریسها، و تغییرات آنها بر اثر تبدیل مختصات به کار برده شده است. بسیاری از مهمترین کاربردهای ریاضیات، متضمن روشهای خطی هستند. مفهوم روش خطی برای کاربرد در مسائل هندسی با یک دستگاه به قدری مهم است که خود نیز شایان توجه است. بسیاری از مسائلی که با آنها مواجه می‌شویم مسائل خطی فرض می‌شوند و لذا بسیاری از تکنیک‌های ریاضی که تاکنون ابداع شده‌اند ذاتاً خطی هستند و تهیه فهرست همه حالت‌های ممکن، از حوصله این کتاب خارج است. در ریاضیات اعمال مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری خطی هستند. معادلات دیفرانسیل خطی که در روش مقدماتی مطالعه می‌شوند، به معنایی که در اینجا منظور شده است، خطی هستند.

این کتاب، موضوعات اساسی را که به طور معمول در نخستین درس در جبرخطی ارائه می‌شود، به طور مفصل دربرمی‌گیرد که شامل فضاها، خطی، استقلال، تعامد، تبدیلات خطی، ماتریسها، مقدارهای ویژه، و فرمهای درجه دوم می‌باشد. نکته‌ای که باید توجه داشت این است که مفاهیم فضاها، برداری و تبدیلات خطی برای همه روشها مشترک هستند. در حالی که نظریه ماتریسها فقط برای مسائل با بعد متناهی به کار برده می‌شود. فصل ۲، مروری است بر پیش‌نیازها که از دو بخش تشکیل می‌شود: پیش‌نیازهای قبل از حساب دیفرانسیل و انتگرال که لازمه موضوعاتی از جبرخطی است که در فصلهای ۱ تا ۷ ارائه می‌شود، و همچنین پیش‌نیازهای حساب دیفرانسیل و انتگرال، که لازمه کاربردها در معادلات دیفرانسیل است. سه فصل آخر، کاربردها در معادلات دیفرانسیل را شرح می‌دهند.

پروفسور تام.م. آپوستول استاد بازنشسته مؤسسه صنعتی کالیفرنیا، نویسنده چندین کتاب با سطح علمی بالا در زمینه حساب دیفرانسیل و انتگرال، آنالیز، و نظریه اعداد و همچنین مدیر پروژه ریاضیات، که یک سری از نوارهای ویدئویی ریاضیات آمیخته با هنر انیمیشن کامپیوتری

است، می‌باشد. کتابهای متعددی در زمینه جبرخطی نوشته شده‌اند، اما در بین همه این کتابها، کتاب جبرخطی پروفیسور تام. م. آپوستل به سبک خاصی نوشته شده است و مانند گوهری بی‌همتا در بین همتایان خود می‌درخشد. وضوح بیان که از ویژگیهای بارز تألیفات نویسنده به مدت چهار دهه می‌باشد، مثالهای برگزیده و مورد آزمایش قرار گرفته در کلاسهای درس که به فهم بهتر مطالب کتاب کمک می‌کند، ترتیبی مناسب از موضوعات که پیش‌زمینه‌ها و علایق مختلف را با خود همراه می‌کند، ارائه فصلهای مقدماتی و پایه‌ای در مورد بردارها و هندسه که انگیزه‌ای برای خلق مفاهیم مجرد در فصلهای آتی خواهد بود، ارائه بحث ماتریس نمایی به گونه‌ای که دارای اثرات متقابلی بین جبرخطی و محاسبات ماتریسی می‌باشد، از ویژگیهای بارز این اثر بوده و دلیل عمده برای ترجمه آن نیز می‌باشد. اهل فن ترجمه کتاب را کار درستی نمی‌دانند اما این کتاب، کتابی نبود که بتوان آن را چشم‌پوشی کرد. پس از بررسی کتابهای متعدد، بر آن شدیم تا کتاب حاضر را که با داستان و انما این استاد فرهیخته به رشته تحریر درآمده، ترجمه و تقدیم خوانندگان محترم کنیم. لذا، مرصوعی را با نویسنده کتاب مطرح کردیم و پس از کسب اجازه از ایشان، کار ترجمه کتاب آغاز و پس از آن، آنها را استمرار به پایان رسید.

در پایان، بر خود لازم می‌دانیم که از همه عزیزانی که در طی فرایند ترجمه و حروف‌چینی، به طرق مختلف، از راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند شدیم، صمیمانه سپاس و قدردانی نماییم. همچنین، از صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، درخواست می‌کنیم که با نظرات و پیشنهادهای خود، خطاها و لغزشهای احتمالی را به ما متذکر شوند تا در چاپ بعدی مدنظر قرار گیرد.

محسن آوجی

فاطمه رخشان

۱۴ مرداد ۱۳۹۵

فهرست مطالب

پ	پیشگفتار هالف
ث	پیشگفتار مترجمان
۱	مروری بر پیش نیازها
	قسمت اول: مقدمات حساب دیفرانسیل و انتگرال
۲	۱.۰ نمایش اعداد حقیقی عنوان نقاطی روی یک خط
۲	۲.۰ زوجهای مرتب به عنوان نقاط در صفحه
۴	۳.۰ مختصات قطبی
۶	۴.۰ اعداد مختلط
۷	۵.۰ تعریف و خواص جبری اعداد مختلط
۹	۶.۰ اعداد مختلط به عنوان توسیع اعداد حقیقی
۹	۷.۰ یکة موهومی i
۱۱	۸.۰ تمرین
۱۱	۹.۰ نمایش هندسی قدر مطلق و آرگومان
۱۴	۱۰.۰ مزدوج مختلط
۱۵	۱۱.۰ تمرین
۱۶	۱۲.۰ استقرای ریاضی
۱۹	۱۳.۰ تمرین
۱۹	۱۴.۰ شرایط لازم و کافی

قسمت دوم: پیش‌نیازهای حساب دیفرانسیل و انتگرال

۱۵.۰	مفهوم مشتق	۲۱
۱۶.۰	ویژگیهای اساسی مشتق	۲۲
۱۷.۰	مشتق توابع مقدماتی	۲۳
۱۸.۰	سرعت و شتاب	۲۴
۱۹.۰	مسأله مساحت زیر منحنی و تاریخچه حساب انتگرال	۲۵
۲۰.۰	انتگرال‌گیری به عنوان فرایندی برای تولید توابع جدید	۲۶
۲۱.۰	ویژگیهای اساسی انتگرال	۲۷
۲۲.۰	تاب نمایشی	۲۹
۲۳.۰	تابع نمایشی و مشتق	۳۰
۲۴.۰	شکل قطبی اعداد مختلط	۳۱
۲۵.۰	سری‌های توانی و سری‌های ابعی	۳۳
۲۶.۰	تمرین	۳۴

۱ جبر برداری

۱.۱	مقدمه تاریخی	۳۷
۲.۱	فضای برداری R^n	۳۹
۳.۱	تعبیر هندسی برای $n \leq 3$	۴۲
۴.۱	تمرین	۴۵
۵.۱	ضرب داخلی	۴۷
۶.۱	طول یا نرم یک بردار	۴۹
۷.۱	بردارهای متعامد	۵۳
۸.۱	تمرین	۵۴
۹.۱	تصویر متعامد و زاویه بین بردارها در فضای n -بعدی	۵۷
۱۰.۱	بردارهای یک‌که مختصات	۵۸
۱۱.۱	تمرین	۶۱
۱۲.۱	پیمایش خطی مجموعه‌ای متناهی از بردارها	۶۳

۶۵	استقلال خطی	۱۳.۱
۶۹	پایه	۱۴.۱
۷۱	تمرین	۱۵.۱
۷۳	فضای برداری n - تایی های مختلط $\mathbb{C}$	۱۶.۱
۷۶	تمرین	۱۷.۱

۲ کاربرد جبر برداری در هندسه تحلیلی

۷۹	مقدمه	۱.۲
۸۰	خط در فضای n - بعدی	۲.۲
۸۱	چند خط سادۀ از خطوط در $\mathbb{R}^n$	۳.۲
۸۵	خطوط و توابع برداری در فضای n - بعدی	۴.۲
۸۶	خطوط در فضا در n - بعدی و سه بعدی	۵.۲
۸۸	تمرین	۶.۲
۹۰	صفحه در فضای اقلیدسی n - بعدی	۷.۲
۹۵	صفحه ها و توابع برداری	۸.۲
۹۷	تمرین	۹.۲
۹۹	ضرب خارجی دو بردار در $\mathbb{R}^3$	۱۰.۲
۱۰۳	بیان ضرب خارجی بر حسب دترمینان	۱۱.۲
۱۰۵	تمرین	۱۲.۲
۱۰۷	ضرب اسکالر سه گانه	۱۳.۲
۱۱۰	دستور کرامر برای حل دستگاهی با سه معادله خطی	۱۴.۲
۱۱۲	تمرین	۱۵.۲
۱۱۵	بردار نرمال صفحات در $\mathbb{R}^3$	۱۶.۲
۱۱۷	معادلات دکارتی خطی برای صفحه در $\mathbb{R}^3$	۱۷.۲
۱۱۹	تمرین	۱۸.۲
۱۲۲	مقاطع مخروطی	۱۹.۲
۱۲۵	خروج از مرکز مقاطع مخروطی	۲۰.۲

۲۱.۲	معادلات قطبی مقاطع مخروطی	۱۲۷
۲۲.۲	تمرین	۱۲۹
۲۳.۲	معادله دکارتی برای مقاطع مخروطی در حالت کلی	۱۳۱
۲۴.۲	مقاطع مخروطی متقارن نسبت به مبدأ	۱۳۳
۲۵.۲	معادلات دکارتی بیضی و هذلولی در حالت استاندارد	۱۳۴
۲۶.۲	معادلات دکارتی سهمی	۱۳۷
۲۷.۲	تمرین	۱۳۹
۲۸.۲	تمرینات گوناگون از بخشهای مقاطع مخروطی	۱۴۱

۳ فضاهای خطی ۱۴۵

۱.۳	مقدمه	۱۴۵
۲.۳	تعریف اصل مجموعه زیر فضای خطی	۱۴۶
۳.۳	مثالهایی از فضاها و خطی	۱۴۷
۴.۳	نتایج اولیه اصول موضوعه	۱۵۰
۵.۳	تمرین	۱۵۲
۶.۳	زیرفضاهای یک فضای خطی	۱۵۴
۷.۳	مجموعه‌های مستقل و وابسته در یک فضای خطی	۱۵۶
۸.۳	پایه‌ها و بعد	۱۶۰
۹.۳	مختصات	۱۶۲
۱۰.۳	تمرین	۱۶۳
۱۱.۳	ضرب‌های داخلی، فضاها ی اقلیدسی. نرم‌ها	۱۶۵
۱۲.۳	تعامد در یک فضای اقلیدسی	۱۷۰
۱۳.۳	تمرین	۱۷۴
۱۴.۳	ساخت مجموعه‌های متعامد. فرایند گرام-اشمیت	۱۷۷
۱۵.۳	مکمل‌های متعامد. تصویرها	۱۸۳
۱۶.۳	بهترین تقریب عناصر یک فضای اقلیدسی با عناصری از یک زیرفضای با بعد متناهی	۱۸۵

۱۷.۳ تمرین ۱۸۷

۴ تبدیلات خطی و ماتریس‌ها

۱۹۱

۱.۴ تبدیلات خطی ۱۹۱

۲.۴ فضای پوچ و برد ۱۹۳

۳.۴ پوچی و رتبه ۱۹۵

۴.۴ تمرین ۱۹۷

۵.۴ اعمال جبری روی تبدیلات خطی ۱۹۹

۶.۴ وارونه‌ها ۲۰۲

۷.۴ تبدیلات خطی یک‌به‌یک ۲۰۵

۸.۴ تمرین ۲۰۸

۹.۴ تبدیلات خطی: مقایسه معلوم روی عناصر یک پایه ۲۱۱

۱۰.۴ نمایش ماتریسی تبدیلات خطی ۲۱۲

۱۱.۴ ساخت یک ماتریس نمایش به شکل قطری ۲۱۹

۱۲.۴ تمرین ۲۲۲

۱۳.۴ فضاهای خطی ماتریس‌ها ۲۲۵

۱۴.۴ یکریختی بین فضاهای خطی و ماتریس‌ها ۲۲۷

۱۵.۴ ضرب ماتریس‌ها ۲۲۹

۱۶.۴ تمرین ۲۳۳

۱۷.۴ کاربردها در دستگاه‌های معادلات خطی ۲۳۵

۱۸.۴ تکنیک‌های محاسبه، روش گاوس جردن ۲۳۹

۱۹.۴ وارون ماتریس‌های مربعی ۲۴۴

۲۰.۴ تمرین ۲۵۰

۲۱.۴ تمرینات گوناگون در مورد ماتریس‌ها ۲۵۱

۵ دترمینان

۲۵۵

۱.۵ مقدمه ۲۵۵

۲.۵ انگیزه‌ای برای انتخاب اصول موضوعه تابع دترمینان ۲۵۶

۳.۵	مجموعه‌ای از اصول موضوعه تابع دترمینان	۲۵۸
۴.۵	دترمینان ماتریس قطری	۲۶۱
۵.۵	دترمینان ماتریس بالامثلثی	۲۶۲
۶.۵	محاسبه همه دترمینان‌ها با فرایند گاوس-جردن	۲۶۳
۷.۵	یکتایی تابع دترمینان	۲۶۴
۸.۵	تمرین	۲۶۴
۹.۵	چندخطی بودن دترمینان	۲۶۷
۱۰.۵	کاربردهای چندخطی بودن	۲۶۹
۱۱.۵	فرمول ضرب دترمینانها	۲۷۱
۱۲.۵	دترمینان وونک ماتریس نامنفرد	۲۷۳
۱۳.۵	دترمینان انتقال خطی بردارها	۲۷۳
۱۴.۵	دترمینان ماتریس قطری وکی	۲۷۴
۱۵.۵	تمرین	۲۷۶
۱۶.۵	فرمول بسط دترمینان به وسیله هم‌عاملها	۲۷۷
۱۷.۵	ماتریس هم‌عامل	۲۷۹
۱۸.۵	دستور کرامر	۲۸۱
۱۹.۵	فرمول بسط دترمینان با استفاده از کهادها	۲۸۲
۲۰.۵	تمرین	۲۸۵
۲۱.۵	وجود تابع دترمینان	۲۸۶
۲۲.۵	تمرینات گوناگون از دترمینانها	۲۹۰

۶ مقدارهای ویژه و بردارهای ویژه ۲۹۵

۱.۶	تبدیلات خطی با نمایش ماتریسی قطری	۲۹۵
۲.۶	مقدارهای ویژه و بردارهای ویژه یک تبدیل خطی	۲۹۷
۳.۶	استقلال خطی بردارهای ویژه نظیر مقدارهای ویژه متمایز	۳۰۱
۴.۶	تمرین	۳۰۲
۵.۶	حالت بعد متناهی	۳۰۴

۳۰۵	۶.۶	قضیه مثالی نمودن
۳۰۹	۷.۶	چندجمله‌ای مشخصه
۳۱۲	۸.۶	محاسبه مقدارهای ویژه و بردارهای ویژه در حالت بعد متناهی
۳۱۵	۹.۶	حاصل ضرب و مجموع ریشه‌های چندجمله‌ای مشخصه
۳۱۷	۱۰.۶	تمرین
۳۱۹	۱۱.۶	ماتریس‌های متناظر با تبدیلات خطی یکسان. ماتریس‌های متشابه
۳۲۵	۱۲.۶	تمرین
۳۲۷	۱۳.۶	اسمیه کیلی-همیلتون
۳۳۱	۴.۶	تمرین
۳۳۲	۱۵.۶	فرم کانی-جوردن
۳۳۷	۱۶.۶	تمرین. استخوان‌گرا. از مقدارهای ویژه و بردارهای ویژه

۳۴۱	۷	مقدارهای ویژه عملگرهای روی فضاهاى اقلیدسی
۳۴۱	۱.۷	مقدارهای ویژه و ضرب داخلی
۳۴۳	۲.۷	تبدیل‌های هرمیتی و هرمیتی کج
۳۴۴	۳.۷	متعامد بردارهای ویژه نظیر مقدارهای ویژه و همایز
۳۴۵	۴.۷	تمرین
	۵.۷	وجود یک مجموعه متعامد یکه متشکل از بردارهای ویژه عملگرهای هرمیتی
۳۴۶		و هرمیتی کج روی فضاهاى با بعد متناهی
۳۴۸	۶.۷	نمایش ماتریسی عملگرهای هرمیتی و هرمیتی کج
۳۴۹	۷.۷	ماتریس‌های هرمیتی و هرمیتی کج. ماتریس الحاقی
۳۵۰	۸.۷	قطری‌سازی یک ماتریس هرمیتی یا هرمیتی کج
۳۵۲	۹.۷	ماتریس‌های یکانی. ماتریس‌های متعامد
۳۵۴	۱۰.۷	تمرین
۳۵۷	۱۱.۷	فرم‌های درجه دوم
۳۵۹	۱۲.۷	تحويل فرم درجه دوم حقیقی به یک فرم قطری
۳۶۲	۱۳.۷	کاربرد در مقاطع مخروطی

۳۶۷	تمرین	۱۴.۷
۳۶۸	فرم‌های درجه دوم معین مثبت	۱۵.۷
۳۶۹	مقدارهای ویژه یک تبدیل متقارن به عنوان مقدارهای فرم درجه دوم آن	۱۶.۷*
۳۷۲	خواص اکسترمال مقدارهای ویژه یک تبدیل متقارن	۱۷.۷*
۳۷۳	حالت بعد متناهی	۱۸.۷*
۳۷۴	تبدیلات یکانی	۱۹.۷
۳۷۸	تمرین	۲۰.۷
۳۸۰	مثال‌هایی از عملگرهای متقارن و متقارن کج روی فضای توابع	۲۱.۷*
۳۸۳	تمرین	۲۲.۷

۸ کاربردها در معادلات دیفرانسیل خطی

۳۸۵	مقدمه	۱.۸
۳۸۵	مرور نتایجی درباره معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه اول و دوم	۲.۸
۳۸۶	تمرین	۳.۸
۳۸۹	معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه n	۴.۸
۳۹۱	قضیه وجود-یکتایی	۵.۸
۳۹۲	بعد فضای جواب یک معادله دیفرانسیل خطی همگن	۶.۸
۳۹۳	جبر عملگرهای با ضریب ثابت	۷.۸
۳۹۴	تعیین پایه‌ای برای جوابهای معادلات خطی با ضرایب ثابت با جزیه عملگرها	۸.۸
۳۹۷	تمرین	۹.۸
۴۰۳	رابطه بین معادلات همگن و ناهمگن	۱۰.۸
۴۰۴	تعیین یک جواب خصوصی معادله ناهمگن. روش تغییر پارامترها	۱۱.۸
۴۰۶	نامفرد بودن ماتریس رونسکین n جواب مستقل معادله خطی همگن	۱۲.۸
۴۱۱	روش‌های خاص تعیین جواب خصوصی معادله ناهمگن	۱۳.۸
۴۱۳	روش پوچساز برای تعیین جواب خصوصی معادله ناهمگن	۱۴.۸
۴۱۴	تمرین	۱۵.۸
۴۱۸		

۴۲۳	۱.۹	مقدمه
۴۲۶	۲.۹	حساب توابع ماتریسی
۴۲۷	۳.۹	سری‌های نامتناهی از ماتریس‌ها، نرم‌های ماتریسی
۴۲۹	۴.۹	تمرین‌ها
۴۳۱	۵.۹	ماتریس نمایی
۴۳۲	۶.۹	معادله دیفرانسیلی با جواب e^{At}
۴۳۳	۷.۹	نسبه یکتایی برای معادله دیفرانسیل ماتریسی $F'(t) = AF(t)$
۴۳۴	۸.۹	تئون نماها برای ماتریس‌های نمایی
۴۳۵	۹.۹	قضیه‌های وجود و یکتایی برای دستگاه‌های خطی همگن با ضرایب ثابت
۴۳۶	۱۰.۹	محاسبه e^{At} در حالت‌های خاص
۴۴۲	۱۱.۹	تمرین‌ها
۴۴۴	۱۲.۹	روش پازر برای محاسبه e^{At}
۴۴۸	۱۳.۹	روش‌های دیگر محاسبه e^{At} در حالت‌های خاص
۴۵۱	۱۴.۹	تمرین‌ها
۴۵۳	۱۵.۹	دستگاه‌های خطی ناهمگن با ضرایب ثابت
۴۵۵	۱۶.۹	تمرین‌ها
۴۵۹	۱۷.۹	صورت کلی دستگاه خطی $Y'(t) = P(t)Y(t) + Q(t)$
۴۶۳	۱۸.۹	روش سری توانی برای حل دستگاه‌های خطی همگن
۴۶۴	۱۹.۹	تمرین‌ها

۴۶۷	۱.۱۰	مقدمه
۴۶۸	۲.۱۰	کاربرد در دستگاه خطی همگن $Y'(t) = A(t)Y(t)$
۴۶۹	۳.۱۰	همگرایی دنباله تقریب‌های متوالی
۴۷۴	۴.۱۰	روش تقریب‌های متوالی برای دستگاه‌های غیرخطی مرتبه اول
۴۷۵	۵.۱۰	اثبات قضیه وجود یکتایی برای دستگاه‌های غیرخطی مرتبه اول

۴۷۸	۶.۱۰ تمرین ها
۴۸۰	۷.۱۰* تقریب های متوالی و نقاط ثابت عملگرها
۴۸۱	۸.۱۰* فضاهاى خطى نرم دار
۴۸۳	۹.۱۰* عملگرهای انقباضی
۴۸۴	۱۰.۱۰* قضیه نقطه ثابت برای عملگرهای انقباضی
۴۸۷	۱۱.۱۰* کاربردهای قضیه نقطه ثابت

۴۹۱

پاسخ سوالات

۵۲۵

نمایه

www.ketab.ir