



اصول طراحی موتور و پیشرانش فضایی

تالیف:

دکتر فتح الله اُمّی

دانشیار گروه هوافضای دانشگاه تربیت مدرس

اولین کتاب مورد تأیید انجمن هوافضای ایران

IAS-88-001

زمستان ۱۳۹۳

سرشناسه	: امی، فتح الله، ۱۳۳۱، مؤلف
عنوان و نام پدیدآور	: اصول طراحی موتور و پیرانش فضایی / تالیف فتح الله امی.
مشخصات نشر	: تهران : هوشمند تدبیر، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۴۶۳ ص. : مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۲۸۵۰۰۰ ریال 978-600-7274-98-9
وضعیت فهرست نویسی	: قیای مختصر
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۶۷۰۱۰

عنوان	: اصول طراحی موتور و پیرانش فضایی
مؤلفان	: دکتر فتح الله امی
ناشر	: هوشمند تدبیر
مدیر مسئول	: محمد قجر
مدیر اجرایی	: دومان صوفیانی
طرح جلد	: حمید باغبانپور
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۲۷۴-۹۸-۹
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
سال انتشار	: چاپ اول، اسفند ماه ۱۳۹۳
بهاء	: ۲۸۵۰۰۰ ریال

نشانی ناشر: تهران - خیابان انقلاب - بین خیابان دانشگاه و خیابان ابوریحان - پلاک ۱۱۷۶ طبقه اول
 نشانی دفتر فروش: تهران - خ کارگر شمالی - قبل پمپ بنزین امیرآباد - جنب بانک پاسارگاد - پلاک ۱۳۰۸
 طبقه سوم - واحد هفتم
 تلفن: ۶۶۹۱۳۱۶۴ - ۶۶۴۷۹۶۷۵ - ۶۶۴۷۹۶۶۵ همراه: ۰۹۱۲۳۸۶۱۲۶۷

ای نام تو بهترین سرآغاز

از آنجا که یکی از وظایف انجمن هوافضای ایران چاپ و نشر کتاب های مربوط به فناوری پیشرفته هوافضا در کشور می باشد، این انجمن از همه کارشناسان و اعضای هیئت علمی دانشگاه ها که در علوم هوافضا تلاش می نمایند دعوت نموده آثار خود را جهت انتشار در اختیار انجمن قرار دهند تا پس از بررسی و ارزیابی لازم، چاپ و منتشر گردد.

کتاب «موتور و پیشرانش فضایی» که حاصل بیست سال تدریس و تحقیق دکتر فتح الله امی عضو محترم هیئت علمی دانشکده هوافضا دانشگاه تربیت مدرس می باشد به منظور حمایت معنوی در اختیار انجمن قرار گرفته و پس از بررسی کارشناسی کد IAS-88-001 مورد تایید انجمن واقع هست. مطالب این کتاب که برای اولین بار در ایران به چاپ میرسد ضمن تشریح کامل موتور فضاییهای معروف جهان که تاکنون مورد بهره برداری قرار گرفته، نحوه طراحی آن را به روش ساده آموزش داده است، به طوری که کارشناسان پس از طی دوره آن میتوانند مشخصات کلی موتور و پیشرانه فضایی مورد نظر را طراحی و محاسبه نمایند. حل مثال واقعی پیشرانه فضایی RD-170 که برای پرتاب موشک باربری «انرژی» در این مرحله اول مورد بهره برداری قرار گرفته، راهنمای طراحی موتور می باشد.

بخش های دیگر کتاب، فناوری پاشش و انتشار سیال سوخت در تمام موتورهای زمینی، هوایی و فضایی که با سوخت مایع توان موثر و نیروی پیشرانه را ایجاد می کنند تشریح نموده و برای اولین بار در ایران تئوری طراحی انژکتور و صفحه انژکتور را ارائه نموده است. در این کتاب طراحی سیستم تست سرد انواع انژکتور نیز ارائه شده است. در بخشهای انتهایی کتاب، ضمن بررسی موتور و پیشرانه های فضایی واقعی جهان، نحوه عملکرد آنها با ارائه نمودار تشریح شده و اجزای مجموعه ها و متعلقات موتور بر قدرت RD-214 که برای پرتاب موشک باربر کاسموس مورد بهره برداری قرار گرفت، ارائه گردیده است. جداول و منحنی های منحصر به فرد در این کتاب که معرف انواع سوختهای مهم موتور و پیشران های فضایی است به غنای تخصصی کتاب می افزاید.

در پایان بار دیگر انجمن هوافضای ایران از عموم اعضا هیئت علمی و کارشناسان هوافضایی کشور دعوت می نماید که آثار خود را جهت انتشار در اختیار انجمن قرار دهند تا انجمن در انجام رسالت اشاعه و آموزش فناوری پیشرفته هوافضا در کشور گامی موثر بردارد.

محمد همایون صدر

رئیس انجمن هوافضای ایران

چکیده یک صفحه ای سوابق علمی - اجرایی مؤلف

الف- تجارب شغلی

- ۱۳۹۲- تاکنون مشاور وزیر علوم و رئیس سازمان محیط زیست
۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱، مشاور پژوهشی سازمان فضایی ایران
۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰، مشاور پژوهشی رئیس سازمان حفظت محیط زیست
۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰، مدیر طرح کاهش آلودگی هوای تهران
۸۴-۱۳۸۳، مشاور معاون پژوهشی سازمان انرژی اتمی ج.ا.ا.
۸۵-۱۳۸۳، رئیس بخش مکانیک دانشگاه تربیت مدرس
۸۴-۱۳۸۳، رئیس گروه هوا و فضا دانشگاه تربیت مدرس
۸۲-۱۳۸۷، رئیس پارک علم و فناوری مدرس
۸۱-۱۳۷۷، نماینده علمی ایران در روسیه و کشورهای مشترک المنافع
۷۷-۱۳۷۶، دبیر کمیسیون نشریات علمی کشور
۷۷-۱۳۷۶، مشاور و جانشین معاون پژوهشی وزات علوم، تحقیقات و فناوری
۷۰-۱۳۶۹، مشاور وزیر علوم تحقیقات و فناوری ج.ا.ا.
۱۳۷۰، تاکنون، موسس و عضو انجمن مهندسی مکانیک ایران
۱۳۶۸ تاکنون، عضو انجمن بین المللی هوا و فضا امریکا
۷۵-۱۳۷۱، مشاور صنایع هوا و فضا در فناوری انتقال تکنولوژی از خارج کشور
۷۰-۱۳۶۵، موسس و مدیر پژوهشکده موتور و پيشرانش ج.ا.ا.
۶۵-۱۳۶۴، مشاور رئیس دانشگاه امام حسین (ع)
۶۱-۱۳۵۹، عضو ستاد انقلاب فرهنگی و موسس جهاد دانشگاهی
۱۳۶۷-۱۳۶۵، عضو شورای مشورتی وزیر فرهنگ و آموزش عالی

ب-تالیفات

۱ جلد ترجمه، ۴ جلد تالیف، ۵۳ مقاله ژورنال، ۱۳۵ مقاله کنفرانس، ۸۷ طرح انجام شده، ۱۰ اختراع، راهنمایی ۴۲ دانشجوی ارشد و دکترا، برگزارکننده ۸ نمایشگاه تخصصی، عضو هیئت تحریر ۴ نشریه علمی تخصصی مکانیک هوا و فضا و محیط زیست، دبیر علمی دهمین کنفرانس سالانه هوا و فضا، دبیر دومین کنفرانس پیشرانش هوا و فضا

تماس:

پست الکترونیک:

fommi@modarres.ac.ir

تلفن همراه: ۰۹۱۲۱۳۲۴۷۶۷

تلفکس: ۸۲۸۸۳۹۴۸

بنام خداوند جان و خرد

پیشگفتار

بی تردید خلقت زمین و آسمان در اعصار تاریخ بشر همواره مورد توجه اندیشمندان بوده و در تمام کتب آسمانی از آن به عنوان یکی از مهمترین آیات الهی یاد شده است. در قرآن عظیم بیش از سیصد بار از خلقت آسمانها و زمین یاد نموده و از انسان های با خرد (اولی الالباب) دعوت نموده که در حوزه با عظمت خلقت زمین و آسمانها نظر کنند تا شاید به برخی از قوانین این پدیده پیچیده دست یابند.^۱ دعوت پروردگار عالم به تدبیر در حرکت پرندگان در هوا که گاهی با بال زدن و گاهی بدون حرکت بال ها پیش می روند، مشوق بشر برای دستیابی به علم پرواز است.^۲ در جای دیگر همه مخلوقات جن و انس را برای سفر به فضا تشویق نموده و می فرماید به کرانه های آسمان دست نمی یابید مگر به واسطه نیروی علم که بر نیروی جاذبه زمین غلبه یابد.^۳ جالب است که در تمام آیات قرآن از زمین با کلمه مفرد (ارض) و از آسمان با کلمه جمع (سماوات) یاد نموده، چون آسمان دارای هفت طبقه است (سبع السماوات) که آنچه بشر می بیند فقط طبقه اول یا آسمان دنیا است.^۴

فناوری هوافضا از آن جهت تکنولوژی پیشرفته محسوب می شود که انسان را با شکل جهان و رشد آن آشنا می سازد و فهم بهتری از ستاره زمین برای زندگی بهتر و حفاظت از محیط زیست به جهان بشریت می دهد و همچنین قله ای محسوب می شود که آثار پیشرفت آن بر سایر علوم و فناوری های مورد نیاز جامعه بشری از آن جاری می گردد. برای مثال سه راهبرد سبک سازی، کوچک سازی و مقاوم سازی در فناوری فضایی موجب پیدایش علوم جدید و میان رشته ای مثل کامپوزیت ها و پلیمرها در مواد گردیده که کاربرد روز افزون آن در سایر صنایع چشمگیر است.

پیشرفت روز افزون فناوری فضایی در سال های اخیر در ایران موجب گردیده که پیشرانش های عظیم ماهواره بر مثل موتور سیمرغ و ماهواره های پیشرفته مثل رصد، ظفر، فجر، امیرکبیر، نوید و کیسول زیستی راکت کاوش به همت دانشگاه ها، پژوهشگاه ها و صنایع هوافضای کشور طراحی و ساخته شود.

۱- آیه ۱۹۰ آل عمران: ان فی خلق السموات و الارض و اختلاف الیل و النهار لآیات لا ولی الالباب.

۲- آیه ۱۹ ملک: اولم یرو الی الطیر فوقهم صافات و یقبضن ما یسکنهن اسماء الرحمن انه بکلی شیء بصیر.

۳- آیه ۲۳ الرحمن: یا معشر الجن و الانس ان استطعتم ان تنفذوا من اقطار السموات و الارض فانفذوا لا تنفذوا الا بسططان.

۴- آیه ۵ ملک: لقد زینا السماء الدنیا بمصابیح.

با اتکال بر الطاف الهی پنجمین اثر اینجانب تحت عنوان ((اصول طراحی موتور و پیشرانش فضایی)) چاپ گردید. این اثر که مجموعه تکامل یافته تالیفات قبلی است در چهارده فصل تدوین شده که مرجع دروس ارائه شده توسط اینجانب در تحصیلات تکمیلی می‌باشد. ترتیب مباحث به گونه‌ای است که دانشجویان به سادگی با مراحل طراحی موتور و پیشرانش فضایی با سوخت مایع آشنا می‌شوند و سعی شده ضمن انتقال مفاهیم اصلی از پیچیده کردن مطالب پرهیز شود.

از آنجا که صنایع طراحی پیشرانش های فضایی، تکنولوژی پیشرفته محسوب می‌شود و در انحصار چند کشور محدود است، در مراجع و مقالات علمی-پژوهشی جهانی، از ارائه مباحث کلیدی و مهم این تکنولوژی پرهیز می‌شود تا انحصار آن همواره محفوظ باشد. در منابع غربی کتاب‌های قطوری مشاهده می‌شود که محاسفانه دانشجویان و علاقه‌مندان به این تکنولوژی، با مطالعه آنها به راهکارهای اساسی طراحی پیشرانش های فضایی دست نمی‌یابند، ولی در این کتاب پس از ارائه مطالب اصولی و جداول کاربردی در فصل های اول تا ششم، طراحی یک پیشرانش فضایی سوخت مایع واقعی در فصل هفتم ارائه شده است. در فصل های هشتم و نهم، طراحی مجموعه های تشکیل دهنده موتور شامل انژکتور، صفحه انژکتور، محفظه احتراق و نازل همراه با تجهیزات تست آنها ارائه گردیده تا دانشجویان بتوانند در بخش طراحی این صنعت که خوشبختانه کشور ما به تکنولوژی آن دست یافته، اشتغال ورزند و این تکنولوژی را به سمت اهداف عالی تر توسعه دهند. در فصل دهم متعلقات موتور مثل توربوپمپ و اتصالات آن به انضمام عملکرد پنوماتیکی و هیدرولیکی با ذکر یک نمونه (موتور RD-214) ارائه شده است، در فصل یازدهم موضوع طراحی توربوپمپ در موتور سوخت مایع و در فصل دوازدهم موضوع مهم قطره و پاشش در موتور و پیشرانش های سوخت مایع فسیلی و هیدروکربنی مورد توجه قرار گرفته است. در فصل سیزدهم مبانی حرکت در هوا و فضا ارائه شده که در پایان آن دانشجویان می‌بایست کد محاسبات یک ماهواره بر مناسب برای قرار دادن ماهواره در مدار مورد نظر را تدوین نمایند. و بالاخره در فصل چهاردهم کاربرد و توسعه موتورهای سوخت مایع در هوافضا ارائه شده است.

در اینجا لازم است از آقایان پرفسور کودریافسوف، پرفسور سوخوف و دکتر بورکالسوف استادان اینجانب در دانشگاه صنعتی ایلتی مسکو و نویسندگان مراجع و منابع روسی بکار گرفته شده در تالیف این اثر یاد نمود، همچنین از آقای دکتر پژمان کاظم پور، مهندس علی مهرابی و مهندس حسین موسوی که در تدوین این کتاب مولف را یاری نمودند قدردانی شود.

در پایان ضمن تقدیم این کتاب به سرور آزادگان جهان، امام حسین (ع) و سرباز با وفای ایشان شهید
سردار حسن طهرانی مقدم، که از مؤسسان فناوری هوافضا در ایران بود، امید است همواره از این
تکنولوژی در مقاصد و اهداف صلح آمیز بهره برداری گردد.

یا من له الهواء و الفضاء

فتح اله امی

تهران - زمستان ۱۳۹۳

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل ۱.....	۱
تاریخ طراحی اولین موتور و پیشرفتهای فضایی.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۱
۱-۱-۱ تعاریف.....	۱
۲-۱ تاریخچه.....	۲
۳-۱ اصول پرواز در فضا.....	۵
تمرین فصل اول.....	۶
پیوست فصل اول: تاریخ طراحی اولین موتور و پیشرفتهای فضایی.....	۷
فصل ۲.....	۹
آشنایی با اتمسفر و فضا.....	۹
۱-۲ مقدمه.....	۹
۲-۲ تعریف ارتفاع.....	۱۰
۳-۲ مشخصات اتمسفر استاندارد.....	۱۱
۴-۲ استاندارد بین المللی جو.....	۱۶
۵-۲ مشخصات لایه های اتمسفر در پرواز هواپیما.....	۱۷
۶-۲ آشنایی با فضا.....	۲۰
تمرین فصل دوم.....	۲۱
پیوست فصل دوم: معرفی دانشمندان پیشکسوت علوم فضایی در جهان.....	۲۲
فصل ۳.....	۲۴
موتورهای عکس العملی.....	۲۴
۱-۳ مقدمه.....	۲۴
۲-۳ مفاهیم اساسی.....	۲۵
۱-۲-۳ تراست و سیال عامل.....	۲۵
۲-۲-۳ موتورهای عکس العملی مستقیم و غیر مستقیم.....	۲۸
۳-۳ موتورهای عکس العملی موشکی.....	۲۸

۴-۳	محدوده عملکرد موتورهای عکس العملی	۲۹
۵-۳	انواع موتورهای عکس العملی	۳۰
۶-۳	انواع موتور موشک از نظر سوخت شیمیایی	۳۱
۷-۳	موتورهای گازوتوربینی توربوفن و توربوشافت	۳۳
۸-۳	شکل و پارامترهای اصلی موتورهای توربوفن و توربوشافت	۳۳
۹-۳	موتور توربوپراپ	۳۶
	تمرین فصل سوم	۳۸
	پیوست فصل سوم: پیشکسوتان فناوری فضایی در آمریکا	۳۹

فصل ۴

	موتورهای عکس العملی با سوخت مایع	۴۱
۱-۴	مقدمه	۴۱
۲-۴	موتورهای عکس العملی موشکی با سوخت مایع	۴۲
۳-۴	انواع موتور موشک با سوخت مایع	۴۳
۴-۴	عملکرد موتور سوخت مایع	۴۳
۵-۴	تجهیزات موتور سوخت مایع	۴۶
۶-۴	دیاگرام دستگاه موتور سوخت مایع	۴۷
۷-۴	مقایسه موتور سوخت مایع با موتور سوخت جامد	۵۰
۸-۴	موتورهای تلفیقی	۵۱
	تمرین فصل چهارم	۵۲
	پیوست فصل چهارم: پیشکسوتان فناوری فضایی در اروپا	۵۳

فصل ۵

	مشخصات اصلی موتور سوخت مایع	۵۵
۱-۵	مقدمه	۵۵
۲-۵	تراست	۵۵
۱-۲-۵	اثبات رابطه تراست با استفاده از تئوری ضربه	۵۶
۲-۲-۵	ضربه تراست	۵۹
۳-۲-۵	تراست ویژه	۵۹
۴-۲-۵	تراست اضافی	۶۰
۳-۵	ضربه مخصوص	۶۰

۴-۵	جرم مخصوص موتور	۶۲
۵-۵	سرعت نهائی موشک (W_k)	۶۳
۶-۵	ضریب کیفیت سازه موشک (a_k)	۶۵
۷-۵	مشخصات ارتفاعی موتور	۶۶
۸-۵	مشخصات تنظیمی	۶۷
۹-۵	برد	۶۷
	تمرین فصل پنجم	۶۹
	پیوست فصل پنجم: اولین موشک پرتاب انسان به فضا در جهان با پیشرانش مایع	۷۰

فصل ۶

	اصول محاسبات ترمودینامیکی - گاز دینامیکی موتور سوخت مایع	۷۲
۱-۶	مقدمه	۷۲
۲-۶	یادآوری مفاهیم و قوانین مخلوط گازها	۷۳
۱-۲-۶	روابط مخلوط گازها	۷۳
۲-۲-۶	قانون دالتون	۷۴
۳-۲-۶	معادله گازهای کامل	۷۴
۴-۲-۶	مشخصه های گاز کامل	۷۶
۳-۶	تعادل، انجماد، تجزیه و ترکیب مجدد در احتراق موتور سوخت مایع	۷۷
۴-۶	روابط ترمودینامیکی سیال عامل در موتور سوخت مایع	۷۸
۵-۶	تعیین خصوصیات محصولات احتراق	۸۰
۱-۵-۶	سیستم گازهای همگن	۸۰
۲-۵-۶	سیستم گازهای ناهمگن	۸۳
۶-۶	معادلات حالت سیال عامل	۸۵
۷-۶	تبادل و اتلاف انرژی در موتور سوخت مایع	۸۶
۸-۶	معادله بقای انرژی در فرایند موتور سوخت مایع	۸۷
۹-۶	شکل مکانیکی معادله بقای انرژی در موتور سوخت مایع	۸۹
۱۰-۶	معادله فرایند ترمودینامیکی محصولات احتراق	۸۹
۱۱-۶	معادله پیوستگی یا بقای جرم محصولات احتراق	۹۱
۱۲-۶	معادله بقای مومنتم سیال عامل	۹۱
۱۳-۶	معادلات دینامیک گاز در نازل همگرا-واگرا	۹۲
۱۴-۶	معادلات دینامیک گاز سیال عامل بر حسب کمیت سکون	۹۴

۹۵	۱۵-۶ تبدیل انرژی محصولات احتراق
۱۰۰	۱۶-۶ شکل دهانه خروجی نازل مافوق صوت
۱۰۴	تمرین فصل ششم
	پیوست فصل ششم: اولین موشکهای سوخت مایع و سوخت جامد ایران (موشک شهاب-۱ و
۱۰۵	سجیل)

فصل ۷

۱۰۷	سوخت و احتراق در پیشرانش فضایی
۱۰۷	۱-۷ مقدمه
۱۰۷	۲-۷ مشخصات تحول و تولید انرژی در پیشرانش
۱۱۴	۳-۷ انواع حالت سوخت در پیشرانش
۱۱۷	۴-۷ انواع سوخت مایع
۱۲۲	۵-۷ مشخصه های مهم احتراق
۱۲۴	۶-۷ مشخصه های شیمیائی سوخت
۱۲۵	۷-۷ فرآیند شیمیائی سوخت
۱۲۶	۱-۷-۷ فرآیند تجمعی
۱۲۶	۸-۷ مشخصات کلی و ضوابط فنی سوخت
۱۲۸	۹-۷ تعیین نسبت ترکیبات در احتراق کامل سوخت
۱۳۱	۱۰-۷ ضریب افزایش اکسید کننده
۱۳۱	۱۱-۷ شرایط انتخاب سوخت
۱۳۲	۱۲-۷ محاسبات مشخصات اصلی موتور
۱۳۸	تمرین فصل هفتم
۱۳۹	پیوست فصل هفتم: قویترین پیشرانش سوخت مایع در جهان

فصل ۸

۱۴۱	اصول طراحی محفظه احتراق موتور سوخت مایع
۱۴۱	۱-۸ مقدمه
۱۴۴	۲-۸ جایگاه موتور موشک با سوخت مایع در موتورهای عکس العملی
۱۴۴	۳-۸ محفظه احتراق موتور موشک با سوخت مایع
۱۴۵	۴-۸ مشخصه های محفظه احتراق
۱۵۰	۵-۸ فرآیند احتراق در موتور موشک سوخت مایع

۱۵۲.....	۸-۶ فرایند انتشار تبخیر و مخلوط شدن سوخت
۱۵۲.....	۸-۶-۱ فرایند انتشار سوخت
۱۵۶.....	۸-۶-۲ فرایند تبخیر سوخت
۱۵۸.....	۸-۷ اصول طراحی انواع انژکتور
۱۶۱.....	۸-۷-۱ مقایسه انژکتور جریان مستقیم و گریز از مرکز
۱۶۲.....	۸-۸ طراحی و محاسبات انژکتور جریان مستقیم یک پایه
۱۶۲.....	۸-۸-۱ طراحی و محاسبات انژکتور جریان مستقیم مایع سوز
۱۶۴.....	۸-۸-۲ طراحی و محاسبات انژکتور جریان مستقیم یک پایه گازسوز
۱۶۵.....	۸-۹ انژکتور گریز از مرکز یک پایه
۱۶۷.....	۸-۹-۱ طراحی انژکتور گریز از مرکز یک پایه
۱۷۴.....	۸-۹-۲ تاثیر ویسکوزیته بر عملکرد انژکتور گریز از مرکز
۱۷۷.....	۸-۹-۳ تاثیر فاکتور های مهم در طراحی انژکتور گریز از مرکز یک پایه
۱۸۰.....	۸-۹-۴ ترتیب محاسبات انژکتور گریز از مرکز یک پایه
۱۸۳.....	۸-۱۰ انژکتور دو پایه
۱۸۵.....	۸-۱۰-۱ مزایای انژکتورهای دو پایه
۱۸۵.....	۸-۱۱ کنترل کیفیت انژکتور
۱۸۸.....	۸-۱۲ صفحه انژکتور
۱۸۹.....	۸-۱۲-۱ شرایط طراحی صفحه انژکتور
۱۹۱.....	۸-۱۲-۲ انواع صفحه انژکتور
۱۹۳.....	۸-۱۲-۳ آرایش انژکتور در صفحه انژکتور
۱۹۸.....	۸-۱۲-۴ نصب انژکتور در صفحه انژکتور
۲۰۱.....	۸-۱۳ محاسبه مشخصه های انرژی در صفحه انژکتور
۲۰۳.....	۸-۱۳-۱ محاسبه مشخصه های انرژی المان صفحه انژکتور
۲۱۲.....	۸-۱۳-۲ تحلیل نتایج محاسبات مشخصه های انرژی المان صفحه انژکتور
۲۱۴.....	۸-۱۴ طراحی صفحه انژکتور
۲۲۲.....	۸-۱۵ تست صفحه انژکتور
۲۲۶.....	۸-۱۶ محفظه احتراق
۲۲۶.....	۸-۱۶-۱ انواع محفظه احتراق
۲۲۹.....	۸-۱۶-۳ ضوابط انتخاب محفظه احتراق
۲۲۹.....	۸-۱۶-۳ طراحی محفظه احتراق
۲۳۵.....	تمرین فصل هشتم

پیوست فصل هشتم: پیشکسوتان فناوری فضایی در روسیه (والنتین گلشگو): ۲۳۶

فصل ۹.....

طراحی نازل ۲۳۸

۹-۱ مقدمه ۲۳۸

۹-۲ انواع نازل ۲۳۸

۹-۳ ضوابط انتخاب نازل ۲۴۱

۹-۴ افت در نازل ۲۴۲

۹-۵ طراحی نازل ۲۴۶

۹-۶- مقایسه نازل مخروطی و پروفیلی ۲۴۸

۹-۷ پیشنهادات در طراحی نازل بهینه ۲۵۰

۹-۸ تعیین مشخصه های نازل و محفظه (احتراق) در تست گرم ۲۵۲

تمرین فصل نهم ۲۵۵

پیوست فصل نهم: نازل لاول ۲۵۶

فصل ۱۰.....

متعلقات موتور سوخت مایع ۲۵۸

۱۰-۱ مقدمه ۲۵۸

۱۰-۲ اجزاء تجهیزات موتور RD-214 ۲۵۸

۱۰-۳ مشخصات اصلی موتور RD-214 ۲۵۹

۱۰-۴ اتصالات و عملکرد پنوماتیکی و هیدرولیکی موتور RD-214 ۲۶۳

۱۰-۵ اتصالات الکتریکی متعلقات موتور RD-214 ۲۶۷

۱۰-۶ اتصالات و لوله کشی شیر آلات موتور RD-214 ۲۶۷

۱۰-۷ مجموعه محفظه احتراق موتور RD-214 ۲۷۳

۱۰-۸ مجموعه توربوپمپ ۲۸۴

۱۰-۸-۱ مراحل آماده کردن دستگاه توربوپمپ ۲۹۴

تمرین فصل دهم ۲۹۹

پیوست فصل دهم: موتور ماهواره بر سیمرغ (تفتان) ۳۰۰

فصل ۱۱.....

اصول طراحی توربوپمپ موتور و پیشرانش سوخت مایع ۳۰۲

۳۰۲	۱-۱۱ مقدمه:
۳۰۲	۲-۱۱: عملکرد و اصول ماشینهای کار و نیرو
۳۰۶	۳-۱۱ تعاریف در توربو ماشین
۳۰۶	۱-۳-۱۱ توربو ماشین محوری و شعاعی
۳۰۶	۲-۳-۱۱ توربو ماشین فشار قوی و فشار ضعیف
۳۰۷	۳-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند راهه
۳۰۷	۴-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند طبقه
۳۰۷	۵-۳-۱۱ : توربو ماشین یک یا چند بدنه
۳۰۷	۶-۳-۱۱ توربو ماشین یک یا چند محوره
۳۰۸	۷-۳-۱۱ توربین های ضربه ای و عکس العملی
۳۰۸	۸-۳-۱۱ درجه عکس العملی
۳۰۸	۴-۱۱ راندمان مکانیکی در توربوماشین
۳۰۹	الف - ماشین های کار
۳۰۹	ب- ماشین نیرو (توربین گاز یا بخار)
۳۱۰	۵-۱۱ راندمان کلی توربوماشین ها
۳۱۰	۶-۱۱ عوامل اقتصادی طراحی توربین
۳۱۱	۷-۱۱ : توربوپمپ پشرانش فضایی
۳۱۱	۱-۷-۱۱ مقدمه
۳۱۴	۲-۷-۱۱ پشرانش با مخازن تحت فشار (سیستم جابجین)
۳۲۰	۳-۷-۱۱ روش های تأمین گاز مخازن
۳۲۳	۴-۷-۱۱ تنظیم فشار ورودی سیال عامل پمپ
۳۲۹	۵-۷-۱۱ سیستم سوخت رسانی پشرانش احتراق مجدد (بسته)
۳۳۴	۶-۷-۱۱ سیستم سوخت رسانی پشرانش باز
۳۳۷	۷-۷-۱۱ مباحث منتخب در توربوپمپ پشرانش فضایی
۳۴۷	پیوست فصل یازدهم: پایگاه فضایی بایکانور

فصل ۱۲

۳۴۹	اصول پاشش سیال عامل در موتور سوخت مایع
۳۴۹	۱-۱۲ مقدمه
۳۵۰	۲-۱۲ انواع روشهای گسستگی در پاشش
۳۵۱	۳-۱۲ شبیه سازی انتشار سیال عامل

۳۵۳.....	۴-۱۲- پاشش در انژکتور آکوستیک
۳۶۰.....	تمرین فصل دوازدهم
۳۶۱.....	پیوست فصل دوازدهم: طراحی و ساخت اولین انژکتور دوپایه و میکروموتور سوخت مایع در ایران

فصل ۱۳.....

۳۶۳.....	مبانی حرکت در هوا و فضا
۳۶۳.....	۱-۱۳- مقدمه
۳۶۴.....	۲-۱۳- نیروی آیرودینامیک
۳۶۸.....	۳-۱۳- معادلات حاکم بر حرکت جسم در هوا و فضا
۳۶۹.....	۴-۱۳- معادلات حاکم بر حرکت هواپیما
۳۷۰.....	۱-۴-۱۳- حرکت مستقیم الخط و بدون شتاب هواپیما
۳۷۱.....	۲-۴-۱۳- اوج‌گیری
۳۷۲.....	۳-۴-۱۳- برخاستن
۳۷۳.....	۵-۱۳- مبانی حرکت در فضا
۳۷۴.....	۱-۵-۱۳- پرواز در فضای با جاذبه و با آتمسفر
۳۷۶.....	۲-۵-۱۳- پرواز در فضای بدون جاذبه و نیروی پسا
۳۸۰.....	۶-۱۳- روابط اساسی حرکت
۳۸۷.....	۷-۱۳- تأثیر سیستم پیشرانش بر عملکرد پرواز جسم
۳۸۸.....	۸-۱۳- پرواز فضایی
۳۹۱.....	۱-۸-۱۳- مدار بیضوی
۳۹۶.....	۲-۸-۱۳- فضای عمیق
۳۹۷.....	۳-۸-۱۳- انحرافات و اغتشاشات در مدار
۳۹۹.....	۴-۸-۱۳- عوامل ایجاد اغتشاش در مدار ماهواره به دور زمین
۴۰۲.....	۵-۸-۱۳- سرعت مأموریت
۴۰۵.....	۶-۸-۱۳- مانورهای پروازی فضایی
۴۰۹.....	۷-۸-۱۳- پیشرانش کنترلی - واکنشی
۴۱۲.....	۹-۱۳- وسایل پرواز در فضا
۴۱۲.....	۱-۹-۱۳- فضایی‌های تک مرحله‌ای
۴۱۳.....	۲-۹-۱۳- فضایی‌های چند مرحله‌ای
۴۲۰.....	۱۰-۱۳- وسایل پرتاب فضائی
۴۲۴.....	۱۱-۱۳- موشک‌های نظامی

۴۲۵.....	۱۲-۱۳ اثرات آبرودینامیکی فوران شعله خروجی از نازل
۴۲۶.....	۱۳-۱۳ پایداری پرواز
۴۲۷.....	تمرین های فصل سیزدهم
۴۲۸.....	پیوست فصل سیزدهم: کیسولهای حامل موجود زنده به فضا

فصل ۱۴.....

۴۳۰.....	کاربرد و توسعه موتورهای سوخت مایع
۴۳۰.....	۱-۱۴ مقدمه
۴۳۱.....	۲-۱۴ موشک های فضائی
۴۳۶.....	۳-۱۴ موشک های داخل اتمسفر
۴۳۷.....	۴-۱۴ هواپیماهای واکت جت
۴۳۸.....	تمرین فصل چهاردهم
۴۳۹.....	پیوست فصل چهاردهم: کیهان شناسی و یافته های تلسکوپ هابل
۴۴۱.....	فهرست منابع