



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تشریح کامل مسائل

مبانی ترمودینامیک

(ویراست هفتم)

بورگناک ■ زوتتاگ ■ (ون وایلن)

جلد دوم

حل کامل مسایل واحد SI
پاسخ به مسائل واحدهای دیگر به صورت ستاردار

تألیف و ترجمه :

مهندس حمید قاسمی

مهندس بهروز ساریجه

دکتر شکوفه خسروی زاده

سرشناسه	: قاسمی، حمید، ۱۳۵۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: تشریح کامل مسائل مبانی ترمودینامیک/ تألیف و ترجمه حمید قاسمی، بهروز ساری جه، شکوفه خسروی زاده.
مشخصات نشر	: تهران : نوآور
مشخصات ظاهری	: ۷۳۸ ص.
شابک	: ج. ۲. ۹-۱۰۵-۱۶۸-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: thermodynamics, 7th ed, 2009 Fundamentals of
یادداشت	: ویراست یک تا چهارم کتاب با عنوان " Fundamentals of classical thermodynamics "
یادداشت	: اصول ترمودینامیک کلاسیک "منتشر شده است .
یادداشت	: ج. ۲. (چاپ اول: ۱۳۹۲) (فیبا).
یادداشت	: کتاب حاضر تشریح مسائل کتاب " اصول ترمودینامیک " تألیف گوردون جان ون وایلن، ریچارد ادوین سانتگ، کلاوس بورگنک است.
عنوان دیگر	: اصول ترمودینامیک.
عنوان دیگر	: اصول ترمودینامیک کلاسیک.
موضوع	: ترمودینامیک
موضوع	: ترمودینامیک -- مسائل، تمرین ها و غیره
شناسه افزوده	: ساری جه، بهروز، ۱۳۶۶ -
شناسه افزوده	: خسروی زاده، شکوفه، ۱۳۵۹ -
شناسه افزوده	: ون وایلن، گوردون جان، ۱۹۲۰ - م . اصول ترمودینامیک کلاسیک
شناسه افزوده	: سانتگ، ریچارد ادوین . اصول ترمودینامیک کلاسیک
شناسه افزوده	: بورگنک، کلاوس . اصول ترمودینامیک کلاسیک
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۶۲۷ الف ۲ س/ ۲۶۵ TJ
رده بندی دیویی	: ۵۳۶/۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۰۹۴۹۷۰

تشریح کامل مسائل مبانی ترمودینامیک (ویراست هفتم) - جلد دوم

تألیف و ترجمه: مهندس حمید قاسمی - مهندس بهروز ساری جه - دکتر شکوفه خسروی زاده

نوآور

ناشر:

نسخه ۱۰۰

شمارگان:

محمدرضا نصیرنیا

مدیر تولید:

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۰۵-۹

شابک:



مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری
نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه اول، واحد ۳

۹۲-۹۱۹۱۴۸۴۶۴

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی سی دی، دی وی دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری، کتاب و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

پیشگفتار

بنام آنکه جان را حکمت آموخت

سپاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید تا به یاری این موهبت راه ترقی و تعالی را ببیماید و سپاس از اینکه عنایات الهی شامل حال ما شد تا با بضاعت اندک علمی خود در خدمت جوانان عزیزمان باشیم.

با توجه به اینکه علم و علم‌آموزی محتاج ابزاری است که مهم‌ترین آنها کتاب است، و با توجه به کمبود کتب مناسب در زمینهٔ رشتهٔ الکترونیک و مکانیک و بالاخص دورهٔ فوق لیسانس و نظر به این که کلاسهای درسی برای حل کامل مسائل دروس دچار کمبود وقت هستند، تصمیم گرفتیم که فعالانه با تشکیل گروهی از اساتید و دانشجویان ممتاز در استان اصفهان اقدام به تألیف کتابهای دورهٔ لیسانس و فوق لیسانس رشته‌های برق و الکترونیک، مکانیک، فیزیک، شیمی و کامپیوتر نماییم.

برای تفهیم هر موضوع درسی نیاز به تمرین و ممارست است و صرف خواندن یک مطلب بدون یادگیری چگونگی استفاده از آن در حل مسائل چندان مطلوب نمی‌باشد و چه بسا که درک عمیق مطلب بدون حل مسائل امکان‌پذیر نباشد. لذا هدف، ارتقاء سطح علمی دانشجویان از طریق کمک در حل مسائل کتاب و مرور مفاهیم در مسائل مرتبط با آنهاست. در کتب دانشگاهی مسایل آخر هر فصل برای تمرین بیشتر به منظور درک بهتر مفاهیم ارایه شده است. در هنگام حل این مسایل به نکاتی دست پیدا می‌کنیم که در متن درسی کمتر به آن اشاره شده است لذا برای استفاده هر چه بهتر از کتابهای حل مسأله، توصیه می‌شود ابتدا روی مسأله موردنظر فکر کرده، حتی‌المقدور راه حل مورد نظر خود را بنویسید، سپس برای چک کردن صحت راه حل خود و یا ایده گرفتن در مورد چگونگی حل، جواب ارائه شده را مطالعه نمایید و مجدداً سعی کنید حل مسأله را شخصاً از ابتدا تا انتها انجام دهید. بدیهی است مطالعه مروری پاسخ نمی‌تواند در یادگیری مفاهیم و کسب مهارت در حل مسأله کمکی بنماید. درس ترمودینامیک ون وایلن از جمله دروس اصلی در شاخه‌ی مهندسی مکانیک در مقطع کارشناسی می‌باشد. اثری که در پیش رو دارید حاصل تلاش یک ساله حقیر می‌باشد که به منظور استفاده‌ی دانشجویان درس ترمودینامیک ون وایلن در دو جلد تهیه گردیده است. جلد اول از فصل دوم تا پایان فصل نهم و جلد دوم از فصل دهم تا پایان فصل هفدهم می‌باشد.

با تمام کوششی که برای ارائه بدون غلط این اثر به عمل آمده است، کتاب خالی از اشکال نیست.
نگارندگان صمیمانه‌ترین سپاسهای خود را تقدیم فرهیخته و دانشجویان ارجمندی می‌نمایند که با
راهنماییها و پیشنهادهای خود راه اصلاح و تکمیل این مجموعه را هموار سازند.

hamid.ghasemi56@gmail.com

دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر

قاسمی - خسروی زاده

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱۰	۷
فصل ۱۱	۷۵
فصل ۱۲	۱۸۲
فصل ۱۳	۲۸۴
فصل ۱۴	۳۹۴
فصل ۱۵	۴۹۶
فصل ۱۶	۶۰۹
فصل ۱۷	۶۹۴

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصرأ متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب، در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی دی اف از کتاب، عکس‌برداری از کتاب، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و **شرعاً نیز حرام** است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی دی اف و موارد این چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هر گونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات و مؤلف از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، افست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤذنین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب، از نظر قانونی غیرمجاز، و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را با از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۰۲۱ ۶۶۴۸۴۱۹۱-۲ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضييع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

فصل دهم

برگشت‌ناپذیری و دسترس‌پذیری

پاسخ به مسائل متن درس

۱۰- الف) آیا انتقال انرژی به صورت ۱۰۰٪ انتقال حرارت قابل دسترسی است؟

پاسخ: طبق تعریف مقدار ممکن کاری که می‌توان به دست آورد برابر انرژی (سودمندی) است. بیشترین مقدار محدود به خروجی

$$W = \left(1 - \frac{T_O}{T}\right) Q$$

موتور حرارتی بازگشت‌پذیر است اگر دما ثابت باشد موتور حرارتی کارناو است.

بنابراین یک ماکزیمم برای دمای بی‌نهایت بالا به دست می‌آوریم که در آن به کارایی واحد (یک) می‌رسیم. در عمل چنین منبعی (تشنش خورشیدی نزدیک‌ترین مورد است) را نداریم و دوماً هیچ ماده‌ای شامل دمای خیلی بالا نمی‌تواند باشد بنابراین یک فرایند سیکل می‌تواند دنبال شود (نزدیک‌ترین مورد می‌تواند تعلیق پلاسما توسط میدان مغناطیسی باشد).

۱۰- ب) آیا کار الکتریکی ۱۰۰٪ در دسترس است؟

پاسخ: بله طبق تعریف، کار ۱۰۰٪ انرژی یا دسترس‌پذیری است.

۱۰- ج) یک شیپوره شامل هیچگونه کار واقعی نیست، پس چگونه باید کار بازگشت‌پذیر را تفسیر کرد؟

پاسخ: هدف شیپوره ایجاد کار نیست اما کار بازگشت‌پذیر می‌تواند برای تولید انرژی جنبشی به اضافه آنچه که از شیپوره واقعی خارج می‌شود استفاده گردد. کار بازگشت‌پذیر به اضافه انرژی جنبشی می‌توانست برابر با کل انرژی جنبشی ممکن خروجی از شیپوره واقعی باشد. نکته دیگر اینست که شیپوره برگشت‌پذیر دارای انتقال حرارت در داخل (اگر شیپوره واقعی بازگشت‌ناپذیر باشد) است. اما برای شیپوره غیر معمول است.

۱۰- د) اگر یک فرایند حجم کنترل واقعی بازگشت‌پذیر باشد درباره عبارت کار چه می‌توان گفت؟

پاسخ: عبارت کار بیشترین مقدار ممکن است. اگر کار مثبت باشد بیشترین کار ممکن خروجی است و اگر کار منفی باشد کمترین کار ممکن است که باید تأمین شود.

۱۰- خ) انرژی می‌تواند به صورت انرژی داخلی انرژی پتانسیل یا انرژی جنبشی ذخیره شود. آیا همه این نوع انرژی‌ها ۱۰۰٪ قابل دسترس هستند؟

پاسخ: انرژی داخلی تنها به صورت بخشی در دسترس است. فرایندی مثل انبساط می‌تواند کار تحویل دهد یا اگر توسط انتقال حرارت سرد شود یک خروجی داریم که تنها به صورت بخشی در دسترس است به عنوان کار انرژی پتانسیل از جاذبه mgH ، یا فتر فشرده یا

۸/ تشریح کامل مسائل میانی ترمودینامیک بورگناک - زونتاک (۲)

باتری شارژ شده شکل هایی هستند که نزدیک به ۱۰۰٪ با تنها اندکی اتلاف در دسترس هستند. انرژی جنبشی مثل چرخ لنگر یک جرم می تواند به کار خروجی بدون اتلاف بسته به سیستم مکانیکی تبدیل شود.

۱۰-۵) آیا انرژی می تواند در فرایند حجم کنترل که برگشت پذیر است تغییر کند؟

پاسخ: بله می تواند، جریان ورودی یا خروجی یک حالت با انرژی متفاوت نسبت به انرژی میانگین داخل یا یک انتقال حرارت، انرژی را تغییر خواهد داد. تمامی موارد که انرژی را تغییر می دهند موارد انتقال هستند بنابراین افزایش خالص (تولید) انرژی وجود ندارد.

۱۰-۶) ما نمی توانیم انرژی را نابود کنیم آیا می توانیم انرژی را نابود کنیم؟

پاسخ: بله هر فرایندی که مقدار بازگشت ناپذیر باشد انرژی را از بین می برد. این نابودی مستقیماً با تولید انرژی متناسب است. در بیشتر موارد ما نمی توانیم انرژی ایجاد کنیم چون ثابت ؟ در مواردی که فرایند بازگشت پذیر داریم.

۱۰-۷) در یک توربین، منبع انرژی چیست؟

پاسخ: جریان ورودی به توربین یک منبع است که شرایطی را مهیا می کند که به توربین اجازه می دهد کار خروجی تحویل دهد. اگر جریان خروجی توربین دارای انرژی مفید باشد می توان منبع را انرژی ورودی منهای انرژی خروجی در نظر گرفت.

۱۰-۸) در یک پمپ منبع انرژی چیست؟

پاسخ: کار محوری یک ورودی است که پمپ را به کار می اندازد و در ادامه جریان را وادار به تولید یک جریان خروجی فشار بالا می کند. افزایش در انرژی جریان خروجی مطلوب هست که بیان کننده افزایش P (فشار) در عبارت انرژی است.

۱۰-۹) در یک پمپ چه چیزی انرژی را به وجود می آورد؟

پاسخ: جریان خروجی فشار بالا خروجی مطلوب هست. هنگامی که آن را با دسترسی پذیری بیان می کنیم تبدیل به افزایش در انرژی جریان می گردد که خروجی است که بیان کننده افزایش P در عبارت انرژی می باشد.

۱۰-۱۰) در یک موتور حرارتی، منبع انرژی چیست؟

پاسخ: به طور عمومی انتقال حرارت دما بالا است. گر چه انتقال حرارت دفع شده در دمای پایین دارای انرژی مفید است همچنین می توان تفاوت را به عنوان منبع فرض کرد.

۱۰-۱۱) در یک پمپ حرارتی منبع انرژی چیست؟

پاسخ: کار ورودی چیزی است که پمپ حرارتی را به حرکت می اندازد.

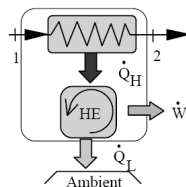
۱۰-۱۲) در معادله (۳۹-۱۰) برای موتور حرارتی منبع انرژی به عنوان انتقال حرارت بیان شده است. در صورتی که منبع

جریانی از گاز داغ که تا تحویل انرژی خود به موتور حرارتی سرد می شود باشد معادله به چه صورت خواهد بود؟

پاسخ: حجم کنترل مبدل حرارتی که به اضافه موتور حرارتی است.

$$0 = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{Q}_L - \dot{W}$$

$$0 = \dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_2 s_2 - \frac{\dot{Q}_L}{T_O} + \dot{S}_{gen}$$



معادله انرژی:

معادله انرژی (فرض بازگشت پذیر):

$$\dot{Q}_L = T_O \dot{m}_1 (s_1 - s_2) + T_O \dot{S}_{gen}$$

معادله را برای $\dot{Q}_L$ حل و در معادله انرژی جایگذاری می کنیم.

$$\dot{W} = \dot{m}_1 [h_1 - h_2 - T_O (s_1 - s_2)] - T_O \dot{S}_{gen} = \dot{m}_1 (\psi_1 - \psi_2) - T_O \dot{S}_{gen} = \eta_{HEII} \dot{m}_1 (\psi_1 - \psi_2)$$

بنابراین کار موتور حرارتی درصدی از انرژی جریان است.

مسایل راهنمای مطالعه و مفاهیم (در واحد SI این بخش از شماره ۱ شروع وبه ۱۴ ختم می‌شود)

۱-۱۰ (مساله ۱ واحد SI) چرا حجم کنترل برگشت‌پذیر با حجم کنترل واقعی دارای عبارتهای جریان و ذخیره یکسان است؟
پاسخ: اگر می‌خواهید دو وسیله را مقایسه کنید باید در بسیاری از جنبه‌های تا حد امکان مفید قابل مقایسه باشند. خصوصاً وقتی که می‌خواهیم خروجی کار ممکن را بیابیم همه جنبه‌هایی که می‌توانند کار تولید کنند مهم می‌باشند و باید در نظر گرفته شوند. جریان‌های ورودی و خروجی و تأثیر انباره‌ای بسیار نزدیک به خروجی کار احتمالی هستند و بنابراین باید برای هر دو حجم کنترل یکسان باشند. بطور واضح یک حجم کنترلی که جریان انرژی بالایی را دریافت می‌کند یا انرژی ذخیره خود را خالی می‌کند می‌تواند کار بیشتری نسبت به حجم کنترلی که چنین تأثیراتی ندارد تحویل دهد.

۲-۱۰ (& ۲ مساله ۲ واحد SI) آیا یکی از انتقال حرارت‌های موجود در معادله ۱۰-۵ می‌تواند به/ از محیط باشد؟
پاسخ: بله می‌تواند انتقال حرارت برگشت‌پذیری که از محیط برای تعادل انتروپی است اضافه بر انتقال حرارت قبلی می‌باشد. در بسیاری از وسایل کاربردی اتلاف انتقال حرارت واقعی به اطراف وجود دارد که به علت بالا رفتن دمای داخل وسیله است.

۳-۱۰ آیا تمام انرژی داخل اقیانوس قابل دسترسی است؟
پاسخ: خیر چون اقیانوس در دمای محیط T است نمی‌توان هیچ‌کاری از آن استخراج کرد. می‌توان انرژی موج (باد انرژی جنبشی تولید می‌کند) را استخراج کرد یا توربین‌هایی را با جذر و مد آب به کار انداخت. گرچه چون دمای اقیانوس یکنواخت نیست مناطق محدودی وجود دارند که آب گرم و سرد نزدیک یکدیگر در عمق‌های متفاوت جریان می‌یابند. در این مورد یک موتور حرارتی می‌تواند به علت تفاوت دما به کار گرفته شود.

۴-۱۰ (& ۴ مساله ۴ واحد SI) آیا فرایند بازگشت‌پذیر در صورتی که هیچ کاری در میان نباشد، انرژی را تغییر می‌دهد؟
پاسخ: بله، فرایند بازگشت‌پذیری قابلیت کاردهی آن را تغییر می‌دهد و هیچ نوع کاری وجود ندارد. در این فرایند تغییر قابلیت کاردهی مربوط به انتقال حرارت است.

۵-۱۰ (& ۵ مساله ۵ واحد SI) آیا کار بازگشت‌پذیر بین دو حالت همانند کار ایده‌آل برای یک وسیله یکسان است؟
پاسخ: خیر، به تعریف کار ایده‌آل بستگی دارد. وسیله ایده‌آل ضرورتاً حالت خروجی یکسانی مثل وسیله واقعی ندارد بنابراین کار ایده‌آل، کار ایزنتروپیک می‌باشد. کار بازگشت‌پذیر بین حالت ورودی و حالت خروجی واقعی ضرورتاً انتروپی یکسانی ندارند.

۶-۱۰ (& ۶ مساله ۶ واحد SI) کار بازگشت‌پذیر در چه صورت با کار ایزنتروپیک یکسان است؟
پاسخ: اگر انتروپی اولیه با انتروپی نهایی برابر باشد فقط کار بازگشت‌پذیر کار ایزنتروپیک خواهد بود.

۷-۱۰ اگر مقدار آب مایع سرد تا دمای T_0 حرارت داده شود آیا دسترسی پذیری آن افزایش می‌یابد؟
پاسخ: خیر. با نزدیک شدن به T_0 ، که در آن اگر از اثرات فشار صرف‌نظر کنیم، انرژی صفر است، دسترس‌پذیری را کاهش داده ایم. هر نمونه با دمای متفاوت (پایین تر یا بالاتر) از متعارفی، انرژی مثبت دارد چون می‌توان با به کار بردن دو دما به عنوان منابع گرم و سرد، یک موتور گرمایی به راه انداخت. برای دمای پایین تر از متعارفی بخش دمای متعارفی طرف گرم موتور حرارتی را تشکیل می‌دهد.

۸-۱۰ (& ۸ مساله ۸ در واحد SI) آیا کار بازگشت‌پذیر و دسترس‌پذیری (انرژی) به هم مرتبط هستند؟
پاسخ: بله خیلی شبیه به هم هستند. کار بازگشت‌پذیر به عنوان کار بازگشت‌پذیری که می‌توان بین دو حالت (ورودی- خروجی و یا ابتدایی- انتهایی) به دست آورد، تعریف می‌شود. دسترس‌پذیری خاصیت یک حالت مفروض می‌باشد و به صورت کار بازگشت‌پذیری که می‌توان با تغییر حالت نمونه از حالت مفروض به حالت متعارفی به دست آورد، تعریف می‌شود.

۱۰ / تشریح کامل مسائل مبانی ترمودینامیک بورگناک - زونتاگ (۲)

۹-۱۰ (مساله ۹ در واحد SI) اگرژی مرتب با یک جریان را در نظر بگیرید. کل اگرژی براساس حالت ترمودینامیکی

و انرژی های جنبشی و پتانسیل است. آیا همه آنها می توانند منفی باشند؟

پاسخ: خیر، طبق تعریف، انرژی جنبشی تنها می تواند مثبت باشد. انرژی پتانسیل از یک ارتفاع مرجع (سطح دریای استاندارد یا ارتفاع محلی) اندازه گیری می شود بنابراین می تواند منفی باشد. حالت ترمودینامیکی تنها می تواند یک اگرژی مثبت داشته باشد. کمترین آن می تواند صفر باشد در صورتیکه حالت ساکن محیط داشته باشیم.

۱۰-۱۰ (مساله ۱۰ در واحد SI) نشان دهید که برای فرآیند حالت پایدار معادله ۱۰-۱۹ به معادله ۱۴ کاهش می یابد.

پاسخ: فرآیند یک فرآیند حالت پایدار است. رابطه کار بازگشت پذیر به صورت عبارات قابلیت کاردهی چنین بیان می شود.

$$W_{rev} = \Phi_q + \sum m_i \Psi_i - \sum m_e \Psi_e - \Phi_{cv} + P_o V$$

$$\Phi_q = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) Q_j \quad \text{توزیع انتقال حرارت بصورت کار بازگشت پذیر عبارتست از:}$$

$$\Phi_{cv} = \frac{dE}{dT} - T_o \frac{dS}{dT} + P_o V \quad \text{قابلیت کاردهی حجم کنترل برابر است با:}$$

با جایگذاری دسترسی های بالا در رابطه کار بازگشت پذیر خواهیم داشت:

$$W_{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) Q_j + \sum m_i \Psi_i - \sum m_e \Psi_e - \left(\frac{dE}{dT} - T_o \frac{dS}{dT} + P_o V \right) + P_o V$$

$$= \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) Q_j + \sum m_i \Psi_i - \sum m_e \Psi_e - \frac{dE}{dT} + T_o \frac{dS}{dT} - P_o V + P_o V \Rightarrow$$

$$W_{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) Q_j + \sum m_i \Psi_i - \sum m_e \Psi_e - \frac{dE}{dT} + T_o \frac{dS}{dT}$$

$$W_{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) Q_j + \Psi_i - \Psi_e - \frac{dE}{dT} + T_o \frac{dS}{dT} \quad \text{بنابراین کار بازگشت پذیر مخصوص برابر خواهد بود با:}$$

$$\Psi_i - \Psi_e = (h_{toti} - T_o s_i) - (h_{tote} - T_o s_e) \quad \text{تفاوت اگرژی های (قابلیت کاردهی) مخصوص برابر است با:}$$

با جایگذاری مقدار بالا در رابطه کار مخصوص بازگشت پذیر خواهیم داشت:

$$W_{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) Q_j + (h_{toti} - T_o s_i) - (h_{tote} - T_o s_e) - \frac{dE}{dT} + T_o \frac{dS}{dT}$$

برای یک فرآیند حالت پایدار دو عبارت آخر رابطه صفر است. بنابراین معادله بالا به این صورت کاهش می یابد.

$$W_{rev} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_j} \right) q_j + (h_{toti} - T_o s_i) - (h_{tote} - T_o s_e)$$

این معادله برابر با معادله کار مخصوص فرآیند حالت پایدار است.

* ۱۰-۱۱ کارایی قانون دوم موتور حرارتی کارنو چیست؟

پاسخ: موتور حرارتی کارنو طبق تعریف بازگشت پذیر است و بنابراین بیشترین مقدار کار ممکن را تحویل می دهد و دارای کارایی قانون دوم ۱۰۰٪ است.

۱۰-۱۲ (مساله ۱۱ در واحد SI) کارایی قانون دوم موتور حرارتی بازگشت پذیر چیست؟

پاسخ: چون موتور حرارتی بازگشت پذیر تولید انترپوی ندارد بیشترین کار ممکن را تولید می کند و کار واقعی کار بازگشت پذیر است بنابراین دارای کارایی قانون دوم ۱۰۰٪ است.

فصل ۱۰. برگشت‌ناپذیری و دسترس‌پذیری / ۱۱

۱۰-۱۳ & (مساله ۱۲ در واحد SI) برای یک شیپوره ورودی و خروجی بیان شده در اگزرژی چیست؟

پاسخ: یک شیپوره جریان ورودی فشار بالا سرعت پایین، جریان خروجی با سرعت بالاتری را با صرف فشار تولید می‌کند. خروجی مطلوب سرعت بالاتر بصورت انرژی جنبشی که بخشی از اگزرژی می‌باشد است. منبع فشار بالای ورودی بیان شده در اگزرژی جریان است.

۱۰-۱۴ & (مساله ۱۳ در واحد SI) آیا معادله اگزرژی مستقل از معادلات انرژی و انتروپی است؟

پاسخ: نه، بدلیل تعریف اگزرژی از خواص حالت و حالت مرجع به معادلات انرژی و انتروپی بستگی دارد.

۱۰-۱۵ & (مساله ۱۴ در واحد SI) از معادله تعادل اگزرژی برای یافتن کارایی موتور حرارتی کارنو حالت پایدار بین دو منبع

دمای ثابت استفاده کنید.

پاسخ: معادله تعادل اگزرژی برای این مورد بصورت زیر خواهد بود: $0 = \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \dot{Q}_H - \left(1 - \frac{T_0}{T_L}\right) \dot{Q}_L - \dot{W} + 0 + 0 - 0 - 0$

حالت پایدار $LHS = 0$ و $dV/dt = 0$ ، جریان جرمی وجود ندارد سیکل کارنو است بنابراین بازگشت‌پذیر است و اتلاف وجود ندارد.

از معادله انرژی می‌توانیم بنویسیم.

که با کم کردن از معادله تعادل اگزرژی خواهیم داشت.

یکی از انتقال حرارت‌ها را نسبت به دیگری حل می‌کنیم.

کار از معادله انرژی برابر خواهد بود:

که در این حالت می‌توانیم کارایی سیکل کارنو را بخوانیم.

مسایل تکلیفی

۱۰-۱۶ & (مساله ۱۵ در واحد SI) دسترسی پذیری 1000 kW انرژی تحویلی در 500 kW و با دمای محیط 300 kW

را بیابید.

پاسخ: انرژی تغذیه شده، دمای تغذیه و دمای محیط برابرند:

قابلیت کاردهی برابر است:

۱۰-۱۷ & (مساله ۱۶ در واحد SI) یک جرم کنترل 10 kJ انرژی را به شکل الف-کار الکتریکی از یک باطری ب-کار

مکانیکی از یک فنر ج-انتقال حرارت در 500°C تحویل می‌دهد. تغییر در دسترس‌پذیری جرم کنترل را برای هر سه مورد بیابید.

پاسخ: تولید انرژی طبق مسئله برابر $Q = 10 \text{ kJ}$ است.

الف) کار الکتریکی از باتری:

تغییر قابلیت کاردهی برابر است:

ب) کار مکانیکی از یک فنر:

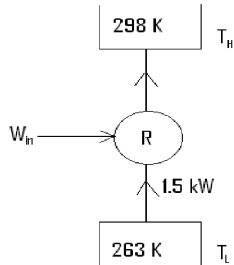
تغییر قابلیت کاردهی برابر است:

ج) انتقال حرارت در 500°C :

$$T = 500^\circ \text{C} = 773 \text{ K}, T_0 = 273 \text{ K}$$

۱۲ / تشریح کامل مسائل مبانی ترمودینامیک بورگناک - زونتاگ (۲)

تغییر قابلیت کاردهی برابر است با: $\Delta\Phi = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)Q = \left(1 - \frac{273}{277}\right)10 = (0.647)10 = 6.47 \text{ kJ}$



۱۰-۱۸) (مسئله ۱۷ در واحد SI) یک یخچال باید 1.5 kW را از فضای سرد در 10°C - حذف نماید و همزمان حرارت را به آشپزخانه در 25°C دفع نماید. کار بازگشت پذیر را بیابید.

پاسخ: اطلاعات زیر شامل حرارت گرفته شده توسط یخچال از محیط سرد، دمای محیط سرد و دمای آشپزخانه برابرند با:

$$Q_L = 1.5 \text{ kW}, T_L = -10^\circ\text{C} = 263 \text{ K}, T_H = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$COP_{ref} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{263}{298 - 263} = 7.514$$

مقدار $C.O.P$ یخچال برابر است با: همچنین می توانیم ضریب کارایی یخچال را بصورت زیر تعریف کنیم:

$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{W_{in}} \Rightarrow 7.514 = \frac{1.5}{W_{in}} \Rightarrow W_{in} = 0.1996 \text{ kW} = 199.6 \text{ W}$$

۱۰-۱۹) یک موتور حرارتی 5 kW را در 800 K و 10 kW را در 600 K دریافت می نماید و انرژی را توسط انتقال حرارت در 600 K دفع می کند. فرض کنید فرآیند بازگشت پذیر است و توان خروجی را بیابید. اگر انرژی باید در $T_0 = 298 \text{ K}$ دفع گردد چه مقدار توان می توان تولید کرد؟ (مسئله ۱۸ در واحد SI)

پاسخ: انرژی دریافت شده در دماهای 800 K و 1000 K و حرارت دفع شده برابرند با:

$$\dot{Q}_1 = 5 \text{ kW}, T_1 = 800 \text{ K}, \dot{Q}_2 = 10 \text{ kW}, T_2 = 1000 \text{ K}, T_L = 600 \text{ K}$$

انتقال حرارت دفع شده برابر است با:

$$\dot{Q}_L = \frac{T_L}{T_1} \dot{Q}_1 + \frac{T_L}{T_2} \dot{Q}_2 = \left(\frac{600}{800}\right)(5) + \left(\frac{600}{1000}\right)(10) = 3.75 + 6 = 9.75 \text{ kW}$$

$$\dot{W} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 - \dot{Q}_L = 5 + 10 - 9.75 = 5.25 \text{ kW}$$

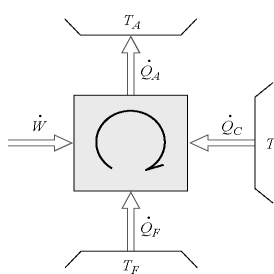
بنابراین توان تولیدی برابر است با:

$$T_0 = 298 \text{ K}, (\dot{Q}_L)_1 = \dot{Q}_2 \left(\frac{298}{600}\right) = (9.75) \left(\frac{298}{600}\right) = 4.8425 \text{ kW}$$

برای دمای پایین داریم:

$$\dot{W} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 - (\dot{Q}_L)_1 = 10 + 5 - 4.8425 = 10.1575 \text{ kW} = 10.16 \text{ kW}$$

بنابراین توان تولیدی برابر است با:



شکل مسئله ۲۰

۱۰-۲۰) یک یخچال خانگی دارای یخدان در دمای T_F و فضای سرد در T_C است که انرژی حذف شده همانند شکل، به محیط در T_A دفع می گردد. فرض کنید که نرخ انتقال حرارت از فضای سرد $\dot{Q}_C$ مشابه آن در یخدان $\dot{Q}_F$ می باشد. عبارتی برای حداقل توان ورودی پمپ بیابید. ایمن توان را در $\dot{Q}_F = 3 \text{ kW}, T_F = -10^\circ\text{C}, T_C = 5^\circ\text{C}, T_A = 20^\circ\text{C}$ بررسی نمایید.

پاسخ: مقادیر زیر داده شده است:

$$T_A = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}, T_C = 5^\circ\text{C} = 278 \text{ K}$$

$$T_F = -10^\circ\text{C} = 263 \text{ K}, \dot{Q}_F = 3 \text{ kW}$$

$$\dot{W} = \dot{Q}_F \left[1 - \frac{T_A}{T_F}\right] + \dot{Q}_C \left[1 - \frac{T_A}{T_C}\right]$$

کار حداقل برابر است با:

فصل ۱۰. برگشت‌ناپذیری و دسترس‌پذیری / ۱۳

در نظر می‌گیریم $\dot{Q}_c = 3 \text{ kW}$. بنابراین داریم:

$$W = 3 \left[1 - \frac{293}{263} \right] + 3 \left[1 - \frac{293}{278} \right] = -0.3422 - 0.1619 = -0.5040 = -0.504$$

۱۰-۲۱) (مساله ۲۰ در واحد SI) کمپرسور یک یخچال از مبرد $R-134a$ در 100 KPa ، -20°C به عنوان ورودی استفاده کردو آن را تا 1 MPa ، 40°C متراکم می‌نماید. با دمای اتاق 20°C حداقل کار کمپرسور را بیابید.

پاسخ: فشار و دمای اولیه، فشار نهایی، دمای نهایی و دمای اتاق برابرند با:

$$p_1 = 100 \text{ kPa}, T_1 = -20^\circ \text{C} = -20 + 273 = 253 \text{ K}, p_2 = 1 \text{ MPa} = 1000 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 40^\circ \text{C} = 313 \text{ K}, T_{\text{room}} = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$$

$$h_1 = 387.22 \text{ kJ/kg}, s_1 = 1.7665 \text{ kJ/kg.K}$$

از جداول بخار در حالت (۱) داریم:

$$h_2 = 420.25 \text{ kJ/kg}, s_2 = 1.7148 \text{ kJ/kg.K}$$

در حالت (۲) داریم:

$$q_{\text{rev}} = T_0 (s_2 - s_1) = (293)(1.7148 - 1.7665) = -15.148 \text{ kJ/kg}$$

حداقل کار کمپرسور برابر است با:

$$W_{\text{min}} = (h_2 - h_1) + q_{\text{rev}} = 387.22 - 420.25 - 15.148 = -48.179 \text{ kJ/kg} \Rightarrow W_{\text{in}} = -48.179 \text{ kJ/kg}$$

۱۰-۲۲) کار بازگشت‌پذیر مخصوص را برای کمپرسور $R-134a$ با حالت ورودی 100 KPa ، -20°C و حالت خروجی 600 KPa ، 50°C بیابید. دمای محیط 25°C می‌باشد.

پاسخ: دما و فشار ورودی، فشار خروجی و دمای خروجی برابرند با:

$$T_i = -20^\circ \text{C} = 253 \text{ K}, p_i = 100 \text{ kPa}, p_e = 600 \text{ kPa}, T_{\text{amb}} = 25^\circ \text{C} = 298 \text{ K}, T_e = 50^\circ \text{C} = 313 \text{ K}$$

$$h_i = 387.22 \text{ kJ/kg}, s_i = 1.7665 \text{ kJ/kg.K}$$

از جداول بخار در حالت (i) (ورودی) داریم:

$$h_e = 438.59 \text{ kJ/kg}, s_e = 1.8084 \text{ kJ/kg.K}$$

در حالت (e) (خروجی) داریم:

کار بازگشت‌پذیر برابر است با:

$$w^{\text{rev}} = T_0 (s_e - s_i) - (h_e - h_i) = (298)(1.8084 - 1.7665) - (438.59 - 387.22) = -38.88 \text{ kJ/kg}$$

۱۰-۲۳) (مساله ۲۱ در واحد SI) کار بازگشت‌پذیر خروجی از توربین دو مرحله‌ای نشان داده شده در مسئله ۶-۸۲ را محاسبه نمایید. فرض کنید محیط در 25°C قرار دارد. این مقدار را با کار واقعی مقایسه کنید، کدامیک باید $18/08 \text{ MW}$ باشد؟

پاسخ:

$$\dot{m}_1 = 20 \text{ kg/s}, p_1 = 10 \text{ MPa} = 10 \times 10^3 \text{ kPa}, T_1 = 500^\circ \text{C} = 773 \text{ K}$$

$$m_2 = 5 \text{ kg/s}, p_2 = 0.5 \text{ MPa} = 0.5 \times 10^3 \text{ kPa}, T_2 = 155^\circ \text{C} = 428 \text{ K}$$

برای حالت (۲) داریم:

$$p_3 = 20 \text{ kPa}, x_3 = 0.9, T_{\text{amb}} = 25^\circ \text{C} = 298 \text{ K}$$

در حالت (۳) داریم:

$$h_1 = 3373.7 \text{ kJ/kg}, s_1 = 6.5966 \text{ kJ/kg.K}$$

از جداول بخار در حالت (۱) داریم:

$$h_2 = 2755.9 \text{ kJ/kg}, s_2 = 6.8382 \text{ kJ/kg.K}$$

در حالت (۲) داریم:

$$h_3 = (h_f)_3 + x_3 (h_{fg})_3 = 251.4 + (0.9)(2358.3) = 2373.9 \text{ kJ/kg}$$

در حالت (۳) داریم:

$$s_3 = (s_f)_3 + x_3 (s_{fg})_3 = 0.8319 + (0.9)(0.766) = 0.7209 \text{ kJ/kg.K}$$

انتقال حرارت بازگشت‌پذیر برابر است با: