

خلاصہ تاریخچه ترمودینامیک

Brief history of thermodynamic

استاد: خسروی الحسینی

کاری از: آلان غلام ویسی

مروری کلی بر تاریخچه

- پیدایش علم ترمودینامیک، حاصل پیوند و بارورسازی متقابل تولید قدرت و علم گرما بود. مهندسان تولید انرژی از آب، با فرار سیدن قرن 19م، شرایط حصول حداکثر قدرت از آبشارها را مشخص کرده بودند. اما عامل موثر توسعه آن، اختراع ماشین بخار در سال 1700 بتوسط جیمز وات بود. بخار پرفشار به داخل استوانه فرستاده می شد تا بر اثر انبساط، پیستونی را به حرکت درآورد. هنگامی که پیستون به انتهای استوانه رسید بخار چنان منبسط می شد که تا حد زیادی فشار خود را از دست میداد؛ و ات با ممانعت از گرم شدن غیر ضروری دیواره های سیلندر، موجبات حصول حداکثر کار را فراهم کرد.
- بین سال های 1700 تا 1900 علم ترمودینامیک به کندی و به سختی پیشرفت می کرد.
- در سال 1900، علم ترمودینامیک کلاسیک، به سبب تلاش های دانشمندانی چون مایر، گیسیس، کلوین؛ کلازیوس و ... که طی 200 سال اخیر صورت گرفته بود ذاتا کامل شده بود.
- هم اکنون شاخه های مختلف و تخصصی از علم ترمودینامیک توسعه یافته اند.

مفهوم دما

- دما یکی از کمیت های بنیادی در فیزیک کلاسیک و فیزیک نوین است برای کمی کردن احساس گرما و سرما از مفهوم دما استفاده می شود و قانون صفرم ترمودینامیک حاوی چنین مفهومی است. این قانون می گوید:
اگر جسم A با جسم B، و جسم B با جسم C، در تعادل گرمایی باشند
آنگاه جسم A با B در تعادل گرمایی است.
- در این مقاله ما ابتدا به دانشمندانی که به این مقوله پرداخته اند می پردازیم و سپس انواع مقیاس های را بیان کرده و توضیح مختصری من باب هر کدام می دهیم.
- از نقطه نظر تاریخی، مفهوم دما از طریق قانون دوم ترمودینامیک به چاقوب نظری ترمودینامیک راه یافت بدون اینکه بخواهیم از محوریت موضوع دور شویم، می توانیم بیان کلوین قانون دوم ترمودینامیک را بگوییم: هیچ فرآیندی که نتیجه آن، تبدیل کامل گرما به کار

- باشد امکان پذیر نیست به بیان ساده تر امکان ندارد که یک ماشین گرمایی تمام انرژی حاصله از منبع گرم را به کار تبدیل کند.
- حال به معرفی دانشمندانی می پردازیم که در بسط این مفهوم مشارکت داشته اند.
- **گالیه:** بدون اینکه اهمیت مفهوم دما را درک کند، مبتکر اولین دماسنج ابتدایی بود وی در سال 1592 این دماسنج یا دمانمای هوایی را اختراع کرد دماسنج وی تابع تغییرات فشار جو بود و این نقطه ضعف آن بود که وی با اختراع دماسنجی که از مایعی در شیشه مسدود شده بود این ضعف را برطرف کرد.
- **فارنهایت:** در سال 1713، گابریل فارنهایت، پایین ترین دمایی را که با مخلوط آب، نمک و سخ بدست می آمد صفر و 12° برای دمای بدن پیشنهاد کرد. فارنهایت نشان داد تغییر نقطه انجماد آب خالص، یکی از نتایج فوق سردسازی است. بعد از کاهش اولیه دما، انرژی آزاد شده در انجماد دما را به نقطه ثابت، که دما سنج آن را 32° فارنهایت نشان می داد باز میگرداند. نقطه جوش آب را، اوله، رومر و ادموند هالی به عنوان نقطه ثابت دیگر که در زمان مرگ فارنهایت 212° فارنهایت بود پیشنهاد کردند. مخلص کلام اینکه، فارنهایت،

بر اساس انبساط سیال اندازه گیری کرد.

■ **سلسیوس:** آندره سلسیوس، دما سنج خود را در سال 1742 اختراع کرد. او دمای مخلوطی از آب و یخ در حالت تعادل و تحت فشار جو را به عنوان صفر درجه ی سلسیوس و دمای مخلوط آب و بخار در حال تعادل در فشار جو را 100 درجه سلسیوس در نظر گرفت و بین این دو را به 100 قسمت مساوی تقسیم کرد.

■ **آنتوان لاووازیه:** که از شمیدانان برجسته قرن 19 ام بود و کاشف اکسیژن و براندازنده نظریه فلورزیستون، فهمید که تمام مواد، از اتم ها مولکول ها تشکیل شده اند.

■ **جان دالتون:** که از تبیین کننده های نظریه اتمی مواد است، بیان کرد که تفسیر دما می تواند این باشد: میانگین سرعت ذرات (گازها) و میانگین ارتعاش ذرات تشکیل دهنده جامدات.





■ **کلوین:** ویلیام تامسون (به بعد لرد کلوین نام گرفت)، یکی از بزرگ دانشمندانی است که نقش محوری در توسعه علم ترمودینامیک داشت. در اواخر دهه 1840، تامسون به طرز فزاینده ایی به نظریه نیروی محرک گرمایی "کارنو" علاقه مند شده بود. کارنو ادعا کرده بود که کارکرد موتور گرمایی، درست همانند چرخ-های آبی، اساسا به افت گرمای میان دمای زیاد دیگ بخار و دمای کم چگالنده، بستگی دارد این طرز تلقی، وی را به کشف مقیاس دمای "مطلق"، در سال 1848 رهنمون ساخت؛ این مقیاس دما، اختلاف دما را با کار انجام شده مرتبط می سازد و مستقل از نوع ماده خواهد بود.



John Dalton

اجازه بدهید، کمی بیشتر توضیح دهم:

- ژوزف گی-لوساک، ژاک شارل و جان دالتون، به طور مستقل از یکدیگر دریافتند که مقادیر ضرایب انبساط (درصد تغییر حجم به ازای تغییر معین دما) در فشار ثابت برای گازهای معمولی تقریباً یکسان است. مقدار این ضریب تقریباً مستقل از فشار ثابت است. این بدان معنی است که حجم گاز تابعی خطی از دماست. این رابطه حجمی، در دمای خیلی کم نباید باشد؛ چه در غیر این صورت حجم گاز صفر، و سپس منفی خواهد شد. این صفر را صفر مطلق، و این دما را دمای مطلق می نامند.
- همه ما می دانیم که رفتار گازهای ایده آل، با حقیقی تفاوت هایی دارد. اندازه گیری دما بر اساس این مقیاس مطلق با گازهای حقیقی متفاوت، بسته به نوع گاز به نتایج متغیری می انجامد. بنابراین ضرورت وجود مقیاسی که مستقل از نوع ماده باشد حس می شد. از طرفی، برای فشارهای کم بهتر می بود که مقیاسی داشته باشیم تا با مقیاس (گاز) مطلق در توافق باشد.
- لرد کلوین، در سال 1847، مقیاسی که بر نظریه ماشین گرمایی کارنو استوار بود ارائه کرد؛ بدین ترتیب که برای هر ماشین گرمایی برگشت پذیر که بین دمای ثابت زیاد، و دمای-

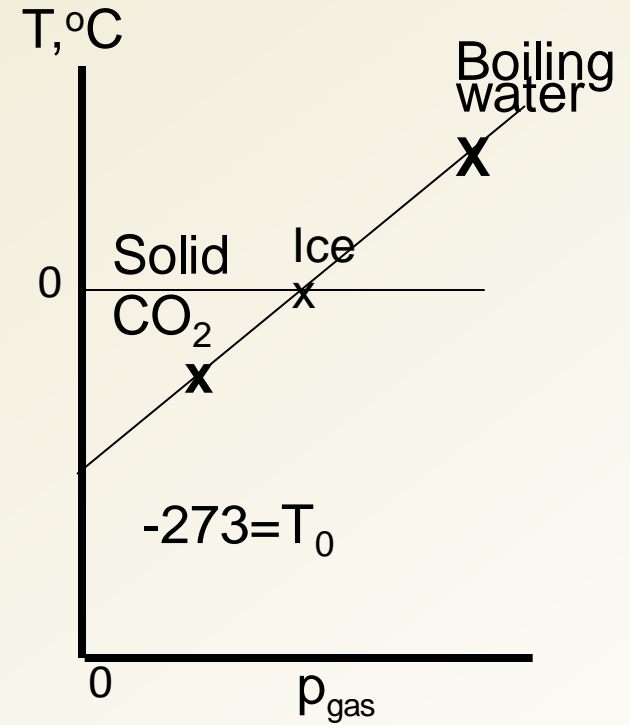
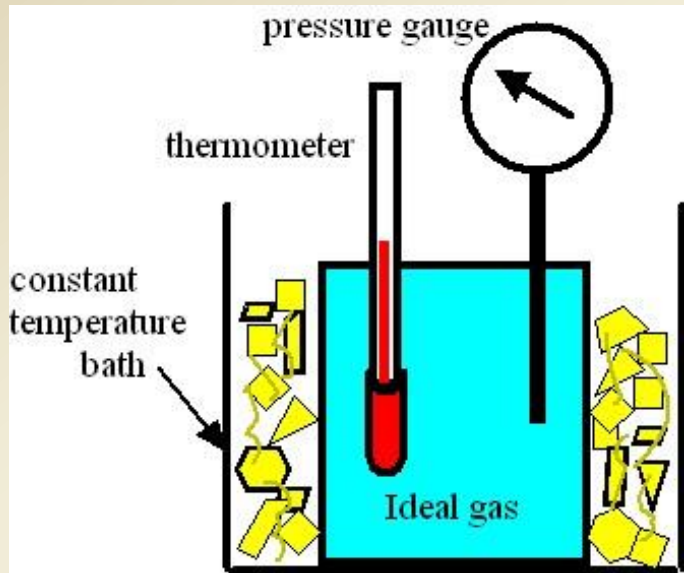
ثابت کم در مقیاس ترمودینامیکی کلوین کار می کند، مقدار انرژی که به سیستم داده می شود به مقدار انرژی که از سیستم خارج می شود برابر باشد. که این امر مستقل از سیالی است که در ماشین کار می کند.

در صفر مطلق، تقریباً تمام ذرات از جنبش باز می ایستند و البته این به آن معنا نیست که واکنش ذرات و واکنش پذیری آنها کم می شود.

می دانیم که رابطه بین سلسیوس و کلوین (دمای مطلق) به صورت زیر است:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + T_0$$

دمای مطلق، 0 درجه کلوین، یا T_0 درجه سلسیوس است؛ می خواهیم به شما نشان دهیم که مقدار درجه سلسیوس را چگونه یافته اند:

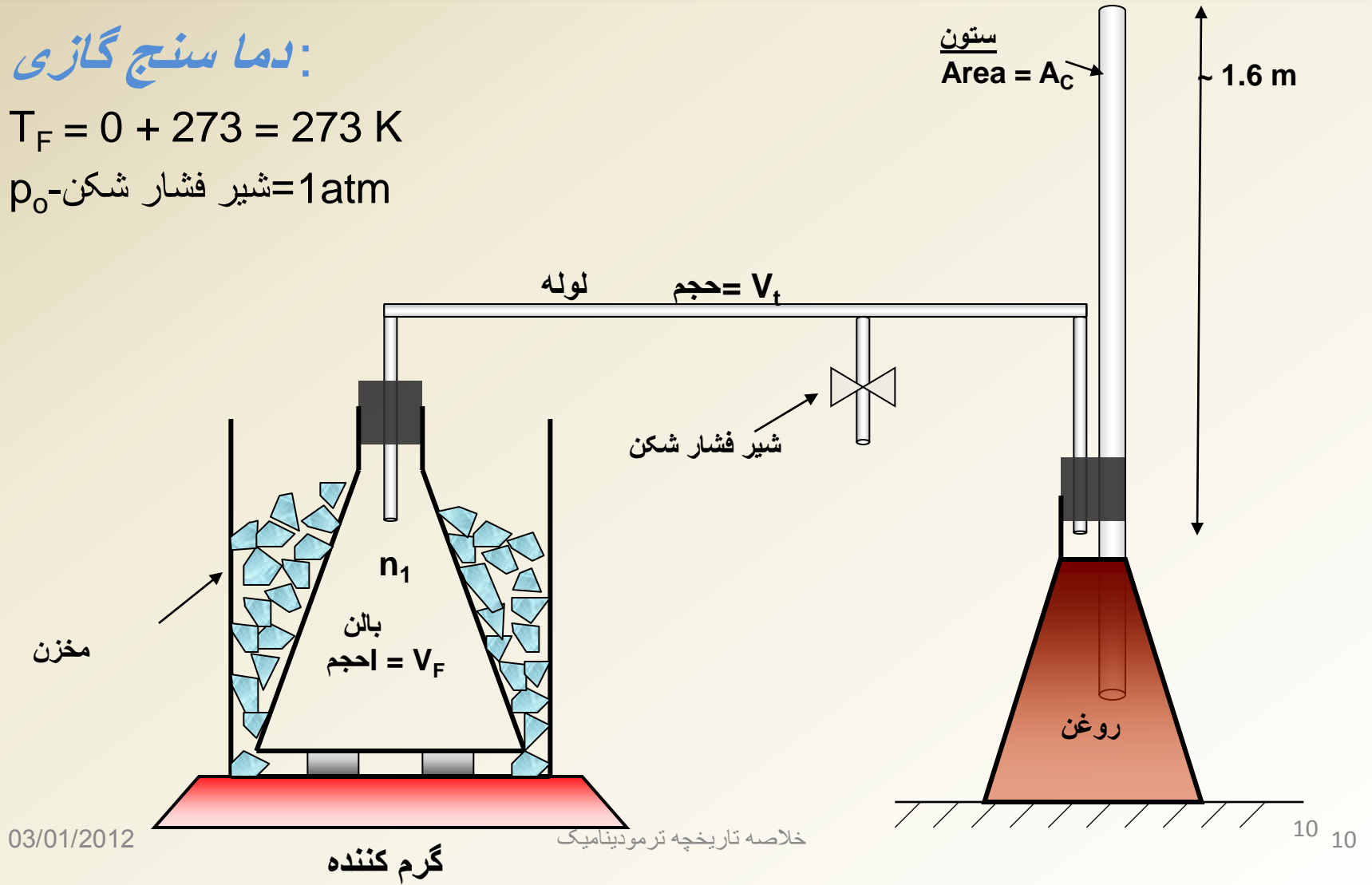


$-273\text{ }^\circ\text{C} = \text{دمای مطلق}$

دما سنج گازی:

$$T_F = 0 + 273 = 273 \text{ K}$$

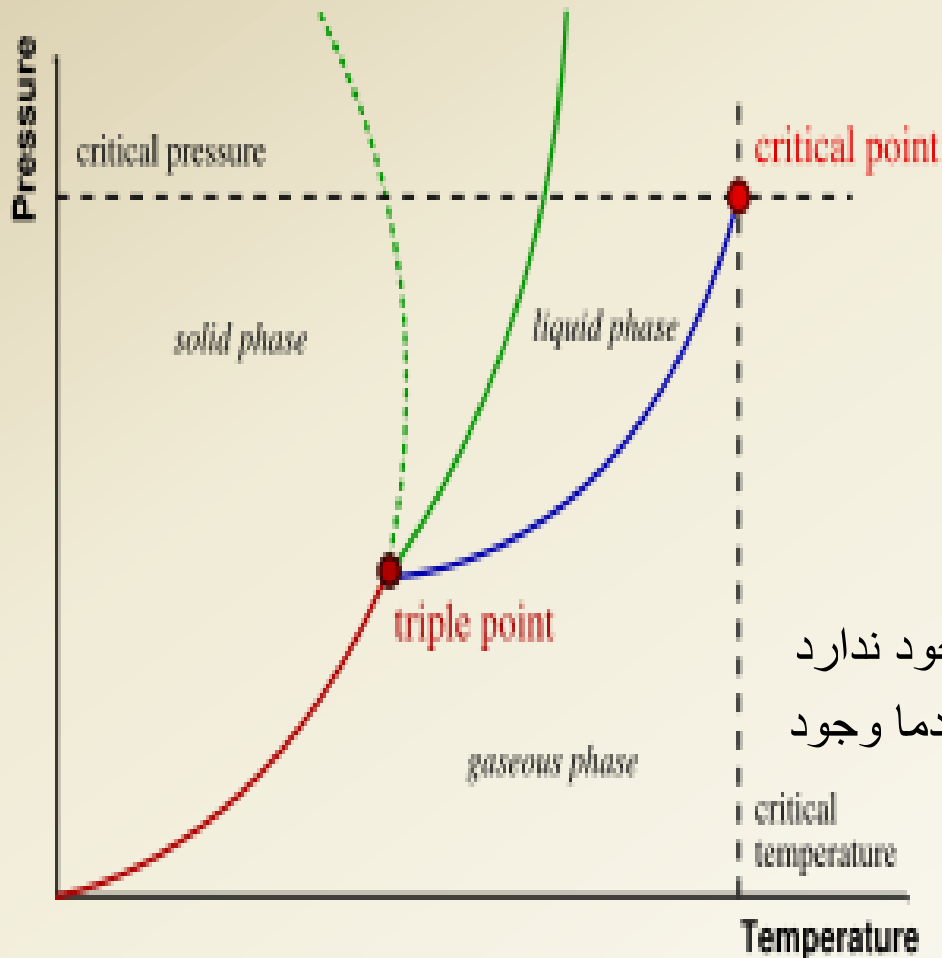
$$p_o = \text{شیر فشار شکن} = 1 \text{ atm}$$



- ترمومتر های گازی در حقیقت از همان قوانین ساده گازهای کامل استفاده کرده و با توجه به افزایش فشار در اثر افزایش دما در حجم ثابت با اندازه گیری این فشار و کالیبره آن بر حسب دما مقدار دما را اندازه گیری کرد. مزیت این ترمومتر نسبت به دماسنجهای دیگر افزایش طول دنباله آن تا چند متر است. در حقیقت دنباله این ترمومترهای از یک لوله موئین تشکیل شده که معمولا به کمک شیلد از محیط اطراف عایق میشوند و تنها قست حباب شکل انتهای آن حساس به دما بوده و به عنوان سنسور تجهیز در نظر گرفته میشود. در این دما سنج گازی، هوا با افزایش دما منبسط می شود و بر سطح روغن فشار اعمال مباد شود و این امر، سبب می شود که روغن از لوله بالا بیاید.

در نهایت، مقیاس دما تثبیت شد:

بنا بر توافق بین المللی، اکنون مقیاس های دما بر اساس صفر مطلق و نقطه سه گانه آب تعریف می شوند. بر نهایت در سال 1968 در "مقیاس دمای عملی بین المللی" نقطه سه گانه آب تحت فشار متعارف جو را 0.01 درجه سلسیوس گرفتند. منظور از نقطه سه گانه، دما و فشار منحصر به فردی است که در آن هر سه حالت جامد، مایع



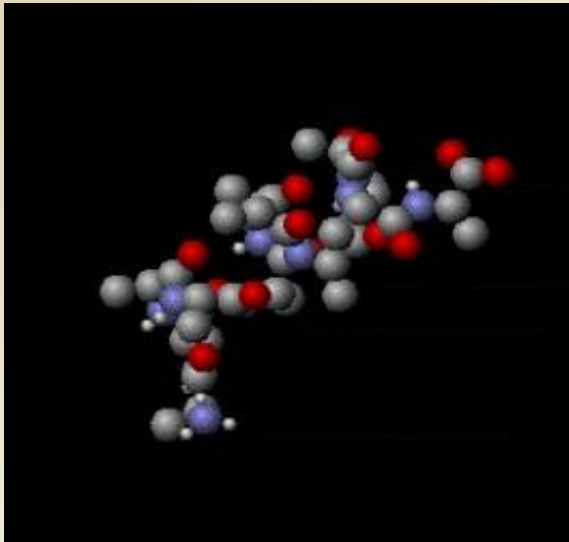
- مایع و گاز ماده ای خالص در کنار هم حضور دارند. این نقطه اهمیت زیادی دارد؛ چرا که به عنوان نقطه ثابت بین المللی انتخاب گردیده است.

$$0.01^{\circ}\text{C} = T$$

$$P = 611 \text{ Pa (0.00611 atm)}$$

باید دانست که دمایی زیر دمای صفر مطلق وجود ندارد و تاکنون به طور مطلق، امکان دستیابی به این دما وجود نداشته است.

گرما



- در فیزیک و فناوری سه معنای متمایز برای گرما می شناسیم.
 - ❖ یکی از تعبیرهای گرما، دما یا میزان "گرمی" است. این معنی امروزه در فیزیک کنار گذاشته شده است؛ اما در زبان محاوره، معنای فنی خاص (گرمای سرخ در مقابل گرمای سفید) و یا در درمان گرمایی هنوز استفاده می شود.
 - ❖ تعبیر دوم از گرما عبارت است از: آن قسمت از انرژی داخلی که همراه با دما تغییر می کند. انرژی داخلی شامل انرژی هسته ای، انرژی شیمیایی و انرژی الکترونی می شود. انرژی گرمایی، شامل چند نوع انرژی مولکولی، از قبیل انرژی جنبشی انتقالی، انرژی جنبشی چرخشی و همچنین انرژی جنبشی نوسانی می شود.
 - ❖ سومین تعبیر گرما را، که در ترمودینامیک تقریباً همیشه با نماد Q نشان داده می شود،

انتقال انرژی گرمایی می نامند.

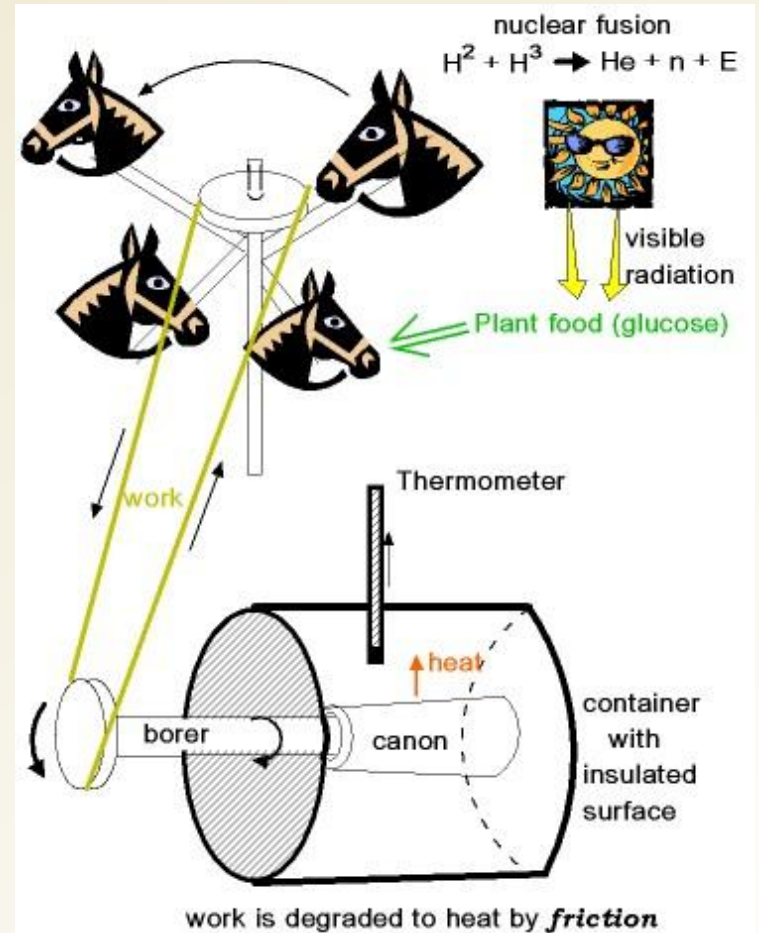
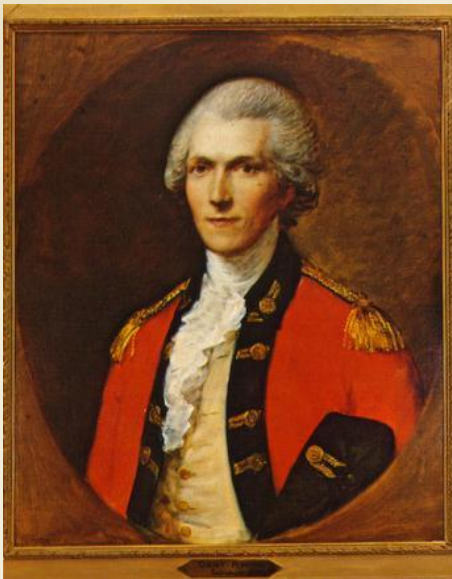
آنتوان لاوازیه اولین کسی بود که با استفاده از نظریات جوزف بلک تلاش کرد که هر سه معنی گرما را در نظریه ی واحدی گرد آورد. بنابر نظریه لاوازیه، شماره ای به نام **کالریک** عامل احساس دماست. وقتی کالریک به جسمی اضافه می شود، مقدار کالریک (انرژی گرمایی) آن جسم افزایش می یابد و باعث بالا رفتن دما می شود.



کمی بعد، بنجامین تامسون یا همان کنت رامفورد نشان داد که نظریه لاوازیه با آزمایش سازگار نیست. او به ویژه نشان داد که از سوراخ کردن فلز برنج هر مقدار دلخواهی انرژی گرمایی می توان به دست آورد، و اگر برنج کمتری بریده شود، این مقدار انرژی بیشتر خواهد شد. به علاوه خرده های برنج نیز همان ظرفیت گرمایی برنج اولیه بریده نشده را دارند.

آزمایش سوراخ کردن توپ با
مته بتوسط رامفورد

کننت رامفورد (1753-1814)



بالاخره در اواسط قرن 19ام بود که در نتیجه تلاش های رابرت مایر و هرمان فون هلمهولتز در آلمان، و به خصوص کارهای تجربی آجوساز انگلیسی به نام جیمز پریسکات ژول، شناختی از انرژی و رابطه آن با سه تعبیر گرما حاصل شد.

اجازه بدهید ابتدا به طور مختصر و خلاصه فعالیت های ژول و مایر را بیان کنیم تا بدانیم که دانشمندان، چگونه به مفهوم پایداری انرژی که گرما هم حالتی از آن است رسیدند.

نقطه مشترک رهیافت این مشکل، مشترک بودن یک ایده در ذهن این سه نفر و ایضا، 9 نفر از دانشمندان دیگر بود:

تبدیل به نحوی با پایداری ارتباط دارد؛ هرگاه یک اثر به اثر دیگر تبدیل می شد، اندازه ای از نخستین اثر، از لحاظ کمی با همان اندازه از اثر دوم جابه جا می شد.



ناگفته نماند که اصل پایستگی چیز جدیدی برای دانشمندان نبود. در طول تاریخ کمیت های بسیاری در علم فیزیک وجود دارد که پایستگی آنها محرز شده است. است. طرفداران نظریه کالریک، پایستاری گرما را به عنوان اصل موضوعه پذیرفته بودند. در اواخر قرن هجدهم آنتوان لاووازیه و دیگران ثابت کردند که جرم در واکنشهای شیمیایی پایستار است؛ هر گاه یک واکنش شیمیایی در محفظه مسدودی انجام پذیرد، در جرم کلی تغییری حاصل نمی شود.

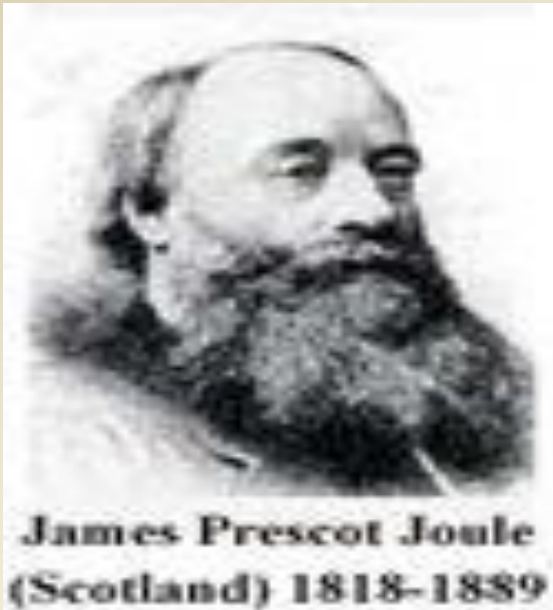
بنا بر این برای نظریه پردازانی که فرآیندهای پایستگی را مطالعه می کردند، طبیعی بود تا تلاش کنند نظریه های خود را بر مبنای یک قانون پایستاری بسازند.

اما همواره در فرمولبندی یک اصل پایستگی، ابتدا می باید به یک پرسش مشکل پاسخ داده می شد که این کمیت پایسته چیست؟

وی در سال 1840 به هنگامی که در چند مورد، از دریانوردان در جاوه خون میگیرد، ملاحظه می کند که خون سیاهرگ آنها رنگ روشن قرمزی دارد. مایر حدس زد که این رنگ غیر عادی خون در نواحی استوایی حاکی از آهنگ آهسته تر اکسایش سوخت و ساز بدن است. وی متقاعد شده بود که اکسایش مواد غذایی، گرمای درونی تولید می کند و دمای بدن را ثابت نگه می دارد.



با استفاده از اصطلاحاتی که آن زمان پذیرفته شده بود، وی نظریه خود را بدین صورت بیان کرد که “واکنش شیمیایی، ”نیروی“ است که صورت آن تغییر می کند؛ اما قدر مطلق آن در فرآیند های سوخت و ساز تغییر نمی کند، و مهمتر از آن اینکه تغییر اکسایش سوخت و ساز تنها نمونه ای از یک اثر کلی است.



همزمان با مایر، ژول نیز چنین فعالیت هایی را انجام داد. وی یک آزمایشگر بسیار ماهر بود. او نیز مانند مایر در رشته غیرتخصصی اش به نبوغ رسید. ژول، قبل از کشف انرژی، پایداری را بر اثر آزمایش های هم ارزی یافته بود.

موضوعی که از آغاز تا پایان بر پژوهش

ژول حاکمیت داشت، این اعتقاد بود که هم ارزیهای کمی را می توان میان آثار گرمایی، شیمیایی، الکتریکی و مکانیکی

یافت. او معتقد شده بود که حد و گستره ی هر یک از آثار را می توان با واحد های از هریک از آثار دیگر ارزیابی کرد. ژول این ارتباطهای کمی را در بیش از 8 طریق متفاوت بررسی کرد.

در اینجا ما یکی از خلاقانه ترین آزمایش های ژول را بررسی می کنیم و به سبب اینکه می خواهیم اصل موضوع را بدون خدشه وارد شدن و به طور مختصر بگوییم.

آزمایش وی که بدین ترتیب بود که: دو ظرف مسی با حجم ثابت، یکی در خلا و دیگری دارای هوای فشرده با شیری که آنها را به هم متصل می کرد در یک گرماسنج جای داده شده بود، با باز کردن شیر اندازه گیری معمولی به عمل آمد. ژول دریافت که هیچ تغییر گرمایی محسوسی حاصل نشده است. انبساط هوا باعث سرد شدن هوای تحت فشار و گرم شدن خلا در مقدار جزئی بود؛ اما هیچ تغییر دمای محسوسی مشاهده نشده بود. چون سیستم مرکبی شامل دو ظرف متصل به هم مسدود بود و حجم معینی داشت و تمامی کار در درون و پشت سر هم بین دو ظرف انجام می شد.

کار انجام شده به وسیله گاز در یک ظرف با کار انجام شده در یک ظرف دیگر برابر بود در نتیجه گرمای اضافی تولید شده بود. بنابراین هم ارزی گرمایی صفر بود ژول نشان داد که مستقل از اینکه چه مقدار انرژی مکانیکی به گرما تبدیل شده باشد، نرخ تبدیل آنها یکسان است. وی این حقیقت را هویدا ساخت که گرما چیزی بیش از حرکت است؛ گرما انرژی است؛ وی نشان داد که انرژی، و نه گرما بقاء دارد.



- ژول در اصل قانون اول ترمودینامیک را با کشف، پایستگی ناخواسته وضع کرده بود.
ژول، اولین کسی بود که برای بدست آوردن ضریب تبدیل بین یكاهای متعارف انرژی مکانیکی (ژول یا فوت پوند) و یكاهای انرژی گرمایی (کالری یا Btu) اندازه گیری دقیقی انجام داد. وی با هم زدن جیوه، انرژی بدان اضافه کرد و افزایش دما را اندازه گرفت. نتیجه کارش را بیشتر با نام “هم ارزی مکانیکی گرما” می شناسند.

به ازای هر 1 Btu ، 778.1 فوت-پوند کار باید انجام داده شود.

کار

❖ همانطور که می دانیم، از زمان نیوتون تا کنون، کار به عنوان فاصله در نیرو شناخته می شود.

$$W = F \times d$$

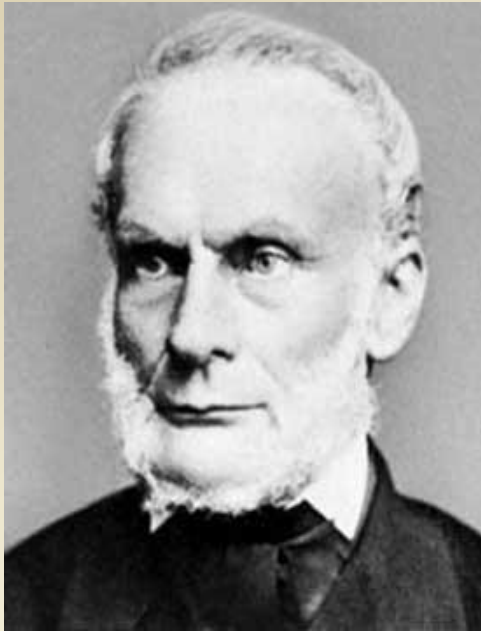
کار و گرما هر دو، دو وجه از انرژی جنبشی هستند. همانطور که پیشتر گفتیم، رامفورد و ژول ثابت کردند که، کار به طور کامل قابل تبدیل به گرما می باشد.

اما بر عکس آن، ممکن نیست!

انرژی توانایی انجام کار است؛ بنابراین عجیب نیست که انرژی و کار واحد های یکسانی دارند و انرژی را به کمک کاری که می تواند انجام دهد اندازه گیری می کنند.

• حالات مختلف کار:

- انبساط و انقباض، مانند بالن
- ماشین های چرخشی، مانند توربینهای بخار
- الکتریکی، مانند ماشین های برقی
- مکانیکی، اهرم های بالابرنده، مانند لیفتراک با الاکلنگ



انرژی و قانون اول ترمودینامیک

همانطور که قبلاً دانستید، مایر در سال 1842 ف و کلازیوس و هلمهولتز در سال 1850، در پی مشاهدات و آزمایش‌هایی، فهمیدند که انرژی نه بوجود می‌آید و نه از بین می‌رود:

انرژی همیشه پایستار است.

انرژی به توسط **قانون اول ترمودینامیک**، به کار و گرما وابسته شد.

$$\Delta U = Q - W$$

انرژی خاصیت ماده است؛ حال آنکه گرما و کار فقط جلوه‌های متفاوت انرژی می‌باشند.

قانون دوم ترمودینامیک

با اختراع ماشین بخار توسط وات، به طور تجربی مشاهده شده بود که نمی توان به طور کامل گرما را به کار تبدیل کرد. سعدی کارنو، پسر سالازار کارنو، مهندس و سردار معروف فرانسوی، در سال 1842، به صورت تئوری نشان داد که چرا این امر ممکن نیست. کارنو در تحلیلش از این باور عمومی زمان خود که گرما درست مانند آب، یک ماده است استفاده کرد؛ او این فرض کرد که موتور گرمایی شبیه یک چرخ آبی است. همانطور که "نیروی محرک" کار قابل حصول، از آب در حال ریزش حاصل ضرب وزن آب در ارتفاعی است

که آب سقوط می کند. نیروی محرک گرما نیز باید به مقدار گرما، که کارنو آن را به کالری بیان کرد و ارتفاعی که گرما سقوط می کند،



Nicholas Leonard
Sadi Carnot
(France) 1792-1832

بستگی داشته باشد. درست همانطور که از آب موجود در یک سطح کاری ساخته نیست- باید سطح پایین تری وجود داشته باشد تا آب بتواند به آن بریزد؛ تنها وقتی که گرما بتواند از یک دما بالا به یک دمای پایین جریان یابد کار انجام می شود.

کارنو فرض کرد که گرما نیز چنین رفتار می کند: خود به خود از یک جسم گرم به یک جسم سرد جریان می یابد. اگر یک موتور مناسب را در سر راه بگذاریم کار انجام خواهد شد.

کارنو تحلیل خود را فراتر برد. او می دانست که ماکزیمم کاری که با آب در حال ریزش می توان انجام داد فقط به حاصلضرب وزن آب و ارتفاع ریزش بستگی دارد، نه به طراحی چرخ آبی، و نه فقط در مورد آب، بلکه این مطلب در مورد همه مایعات درست است. اگر الکل یا روغن زیتون از آسمانها می بارید و رودخانه هایی تشکیل می شد که از جریانش میخواستیم برای ایجاد توان استفاده کنیم، ماکزیمم کار قابل حصول باز هم حاصلضرب وزن مایع و ارتفاعی می شد که مایع سقوط می کرد. به عبارت دیگر، تعیین ماکزیمم کار، مستقل از ماده عامل خاص به کار رفته است.

کارنو به کمک قیاس استدلال کرد که ماکزیمم کاری که یک موتور گرمایی می تواند انجام دهد نیز باید به صورت مستقل از ماده عامل بیان شود، و این کار باید فقط به مقدار گرمای به کار رفته و اختلاف دو دمای عملکرد بستگی داشته باشد.

قانون دوم و آنتروپی

بیان های توصیفی دیگر قانون دوم ترمودینامیک:

- کلازیوس: "غیر ممکن است که بتوان به طور کامل، گرما را به کار تبدیل کرد."
 - کلوین-پلانک: "برای هر ماشینی، این امر غیر ممکن است که گرما، بدون اینکه کاری صورت گیرد، به طور خود به-خود فاز جسم سرد به جسم گرم برود."
- کلازیوس، به این نکته پی برد که در هر چرخه، دو فرآیند رخ می دهد: (1) جریان گرما از محیط گرم به سرد می رود (فرآیند-کارنو)، (2) گرما به انرژی مکانیکی تبدیل می شود. (فرآیند ژول). اما وی نمی توانست استدلال کارنوفمبنی بر دائمی بودن



حرکت را بپذیرد. زیرا ماشین های گرمایی همانند چرخ های آبی (ماشین های هیدورلیکی) نبودند. این امکان وجود داشت که ماشینی در نظر گرفته شود که از انرژی گرمایی جسم سرد استفاده کند و بازده آن بیش از بازده کارنو باشد.

ماشین کارنویی که به کمک ماشین دیگری با بازده بیشتر، به طور معکوس رانده می شد قادر بود گرما را از جسم سرد به جسم گرم منتقل کند.

کلازیوس با پی بردن به این نکته که ماشین های گرمایی صرفاً، یک نوع انرژی را به انرژی دیگر تبدیل می کنند، مفهوم تبدیل های معادل را معرفی کرد. او با استفاده از کسر تامسون Q/T نشان داد که در چرخه برگشت پذیر، تبدیل معادل جریان گرما و تبدیل گرما دقیقاً با هم برابرند. کلازیوس، مفهوم تغییرات انرژی را به مفهوم معادل تعمیم داد. هنگامی که جسم گرما بدست می آورد، منبسط هم می شود و با جابه جا شدن مولکولها، کار درونی انجام می گردد. وی استدلال کرد که حاصلجمع مقادیر معادل



Rudolph Clausius
(Germany) 1822-1888

این دو تبدیل باید بر حسب کسر تامسون بیان گردد؛ این کسر حالت انرژی جسم را بدست میدهد؛ وی مصر بود که این کسر، نام **آنتروپی** را به خود بگیرد.

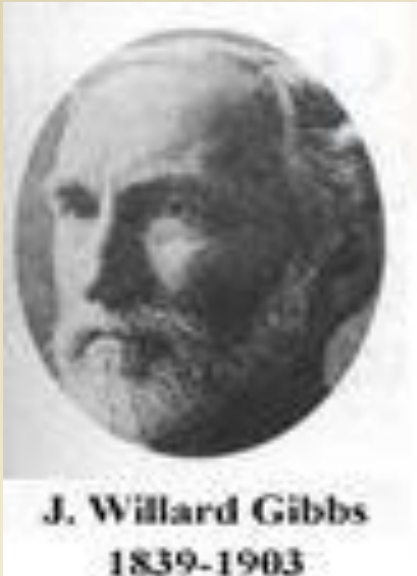
$$\Delta S = Q/T$$

ترمودینامیک شیمیایی و مواد:

❖ این شاخه با موارد زیر سروکار دارد:

1. اجزاء متعدد، فازهای چند گانه
2. واکنش ترکیب های شیمیایی
3. تعادل در حالتی که p و T ثابت اند.

این شاخه توسط ویلارد گیبس، استاد دانشگاه یل، توسعه یافت. گیبس مفهومی به نام، "پتانسیل شیمیایی" را ارائه کرد که برای:



- I. واکنش های شیمیایی
- II. تبدیل شدن فازها به یکدیگر
- III. پخش شدن ماده ای در تک فازها کاربرد به سزایی دارد.

پتانسیل شیمیایی در تعادل وجود ندارد،
چون فرآیند
متوقف شده است.

ترمودینامیک آماری:

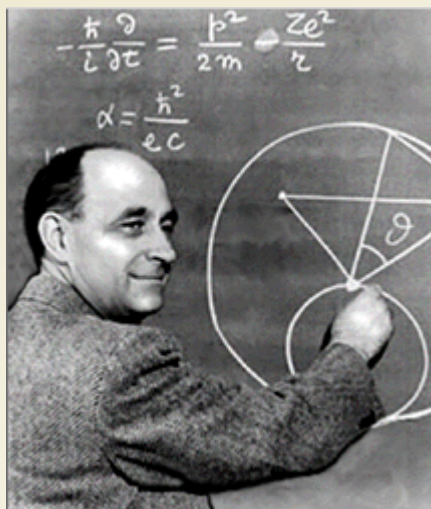
بولتزمن: کشف فرمولی برای آنتروپی مطلق در سال 1885.

پلانک: کوانتیده کردن انرژی و لحاظ کردن مقدارهای مشخص برای آن در 1900.

اینشتین-دبای: توضیح دادن مکانیک کوانتوم درباره گرمای ویژه جامدات در سال 1905.

فرمی، دیراک، بوز: مقداری کردن ترمودینامیک آماری.

جیاکو: وضع قانون سوم ترمودینامیک مبنی بر صفر بودن آنتروپی اجسام، در صفر درجه کلونین در سال 1930.



منابع مورد استفاده:

- 1) دانشنامه فیزیک - مرکز تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان
- 2) ترمودینامیک و حالت - مری گلشتاین / مرکز نشر دانشگاهی
- 3) فیزیک و واقعیت - اینشتین / نشر خوارزمی
- 4) فیزیکدانان بزرگ - کروپر / انتشارات فاطمی