جلسه هشتم

ترمودینامیک و مکانیک آماری

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه
دانشگاه قم
مهر ۹۹

مفاهیمی در فیزیک حرارت

مطالب و عناوین:

- مبانی آماری فیزیک حرارت
- ریاضیات مفید
- گرما
- احتمال
- **دما و فاکتور بولتزمن**
- توزیع ماکسول بولتزمن
- فشار
- اثر افیوژن مولکولی
- پویش آزاد متوسط و برخوردها
- انرژی و قانون اول ترمودینامیک
- فرایندهای همدما و بی‌دررو
- ماشین‌های حرارتی و قانون دوم ترمودینامیک
- آنتروپی

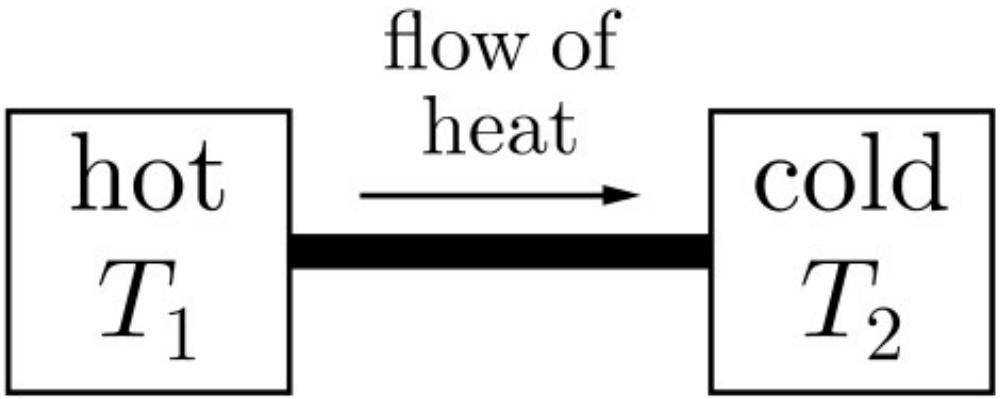
محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

- در این اینجا مفهوم دما را بررسی خواهیم کرد
- دما یک معیار ساده‌ای از گرما و سرما است، بطوریکه یک جسم گرم یک دمای بالاتر از یک جسم سرد دارد.
- اگر یک جسم با دمای T_1 گرمتر از جسم دومی با دمای T_2 باشد، ما انتظار داریم که $T_1 > T_2$ باشد. اما اعداد T_1 و T_2 دلالت بر چه چیزی دارند؟ معنی واقعی دما چیست؟

دما و فاکتور بولتزمن

- اگر جسم‌های گرم و سرد در یک تماس حرارتی قرار داشته باشند به این معنی که آنها بتوانند انرژی مبادله بکنند. گرما از جسم گرم به جسم سرد شارش پیدا می‌کند.

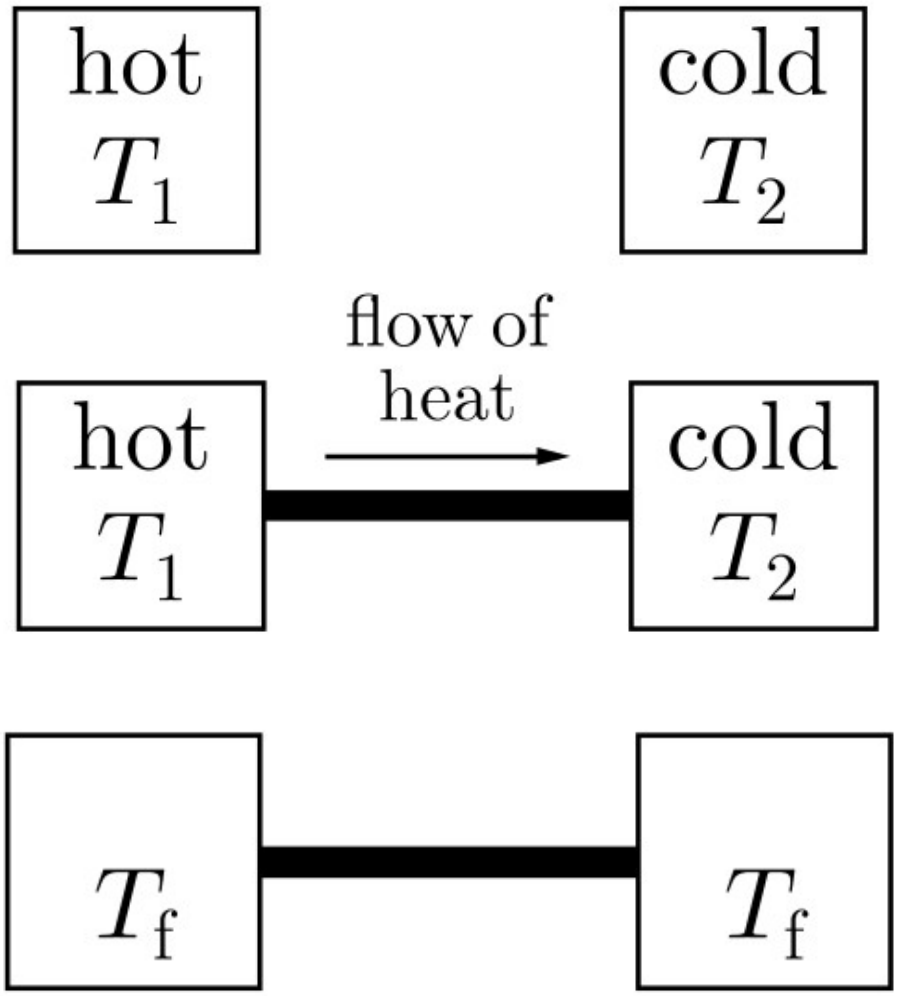


- گرما انرژی در گذر است و اگر هیچ عامل دیگری در جریان نباشید، گرما همیشه از جسم گرم به جسم سرد شارش خواهد یافت و مقدار انرژی و دمای دو جسم با زمان تغییر خواهد کرد.

دما و فاکتور بولتزمن

- بعد از مدتی که جسم‌ها در تماس حرارتی بودند، به وضعیتی می‌رسیم که خواص ماکروسکوپی دوجسم با گذر زمان تغییر زیادی نخواهند کرد.
- در این شرایط، اگر انرژی از جسم اول به جسم دوم شارش کند با انرژی شارش شده از جسم دوم به جسم اول مساوی است و هیچ شارش خالصی از گرما بین دو جسم وجود ندارد.
- در این شرایط، دو جسم در **تعادل گرمایی** هستند بطوریکه مقدار انرژی و دماهای دو جسم با گذر زمان تغییر نخواهد کرد.

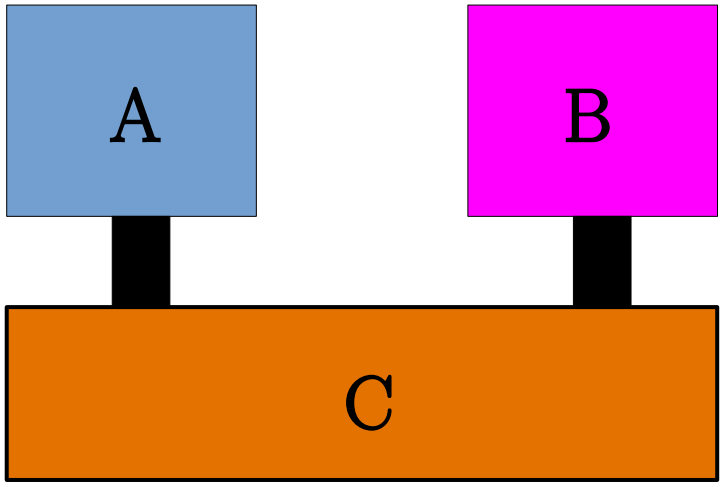
دما و فاکتور بولتزمن



- وقتی دو جسم در تماس گرمایی باشند، تغییر از شکل دومی به شکل سومی ناگزیر حاصل می‌شود.
- اگر دو جسم در دمای یکسان، بصورت نشان داده شده در شکل سومی، در تماس گرمایی قرار داده شوند روند معکوسی منتهی به شکل دومی اتفاق نخواهد افتاد.
- بنابراین بصورت تابعی از زمان، سیستم‌ها در تماس حرارتی تمایل به سمت تعادل گرمایی دارند.

دما و فاکتور بولتزمن

- اگر اجسام با هم در تعادل گرمایی باشند ما انتظار داریم که **دماهای تمامی آنها یکسان باشد.**



- این ایده به **قانون صفرم ترمودینامیک** منجر می‌شود که بیان می‌کند که **دو سیستم هر یک بطور جدا در تعادل گرمایی با سیستم سومی باشند با یکدیگر در تعادل گرمایی هستند.**

دما و فاکتور بولتزمن

- قانون صفرم ترمودینامیک روشی برای چگونگی اندازه‌گیری دما به ما می‌دهد.
- جسمی که دمای آن نیاز به اندازه‌گیری دارد را در تماس حرارتی با جسم دومی قرار می‌دهیم و صبر می‌کنیم تا آنها در تعادل حرارتی قرار بگیرند. **جسم دوم یک دماسنج نامیده می‌شود.**
- قانون صفرم ترمودینامیک تضمین می‌کند که اگر جسم دوم را در مقابل هر دماسنج استاندارد دیگری کالیبره کرده باشیم، باید همیشه نتایج سازگاری داشته باشیم.

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.

یک نوع متداول دماسنج با استفاده از این واقعیت کار می‌کنند که مایعات در هنگام گرم شدن گسترش می یابند.

* گالیله یک دماسنج آبی را در ۱۵۹۳ طراحی کرد.

https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_thermometer

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.

دماسنج الکلی

دماسنج جیوه‌ای

* فارینهایت در سالهای ۱۶۸۶ تا ۱۷۳۶ دماسنج‌هایی مبتنی بر الکل و جیوه طراحی کرد که مقیاس درجه حرارت معروف خود را داشت. سپس در سال ۱۷۰۱ تا ۱۷۴۴ طرح منطقی تر توسط سلسیوس جایگزین آن شد.

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.

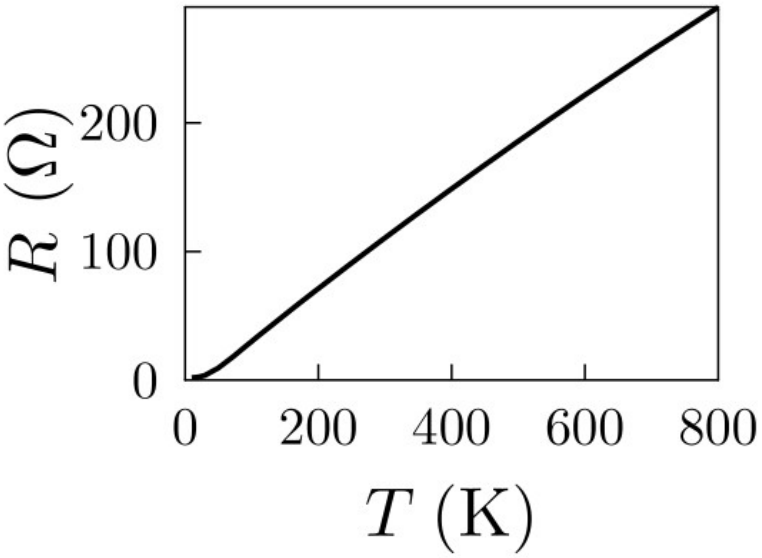
* فارینهایت در سالهای ۱۶۸۶ تا ۱۷۳۶ دماسنج‌هایی مبتنی بر الکل و جیوه طراحی کرد که مقیاس درجه حرارت معروف خود را داشت. سپس در سال ۱۷۰۱ تا ۱۷۴۴ طرح منطقی تر توسط سلسیوس جایگزین آن شد.

$$^\circ\mathrm{C} = \frac{5}{9}\left(^\circ\mathrm{F} - 32\right)$$

$$^\circ\mathrm{F} = \frac{9}{5}{}^\circ\mathrm{C} + 32$$

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.

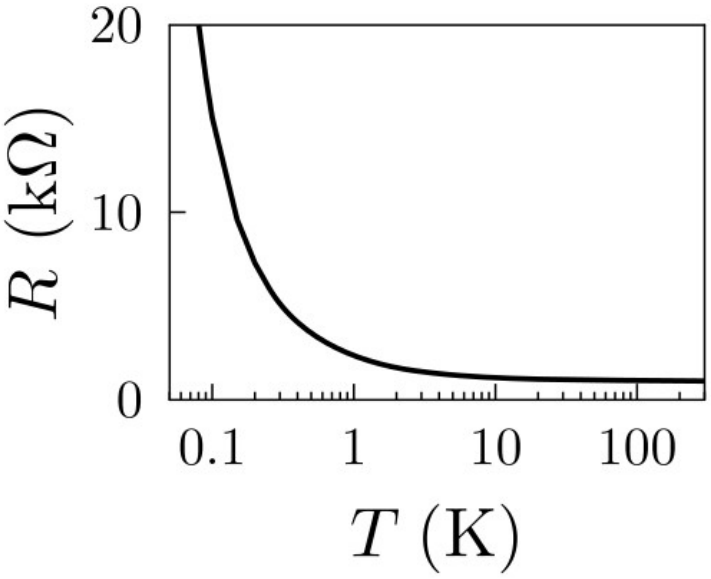


* اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ماده در صورتی که وابستگی دمایی مقاومت شناخته شده باشد. پلاتینیوم یک انتخاب مناسب است چون از نظر شیمیایی مقاوم است و یک ضریب دمایی بالایی دارد.

$$\mathrm{K} = 273.15 + {}^{\circ}\mathrm{C}$$

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.



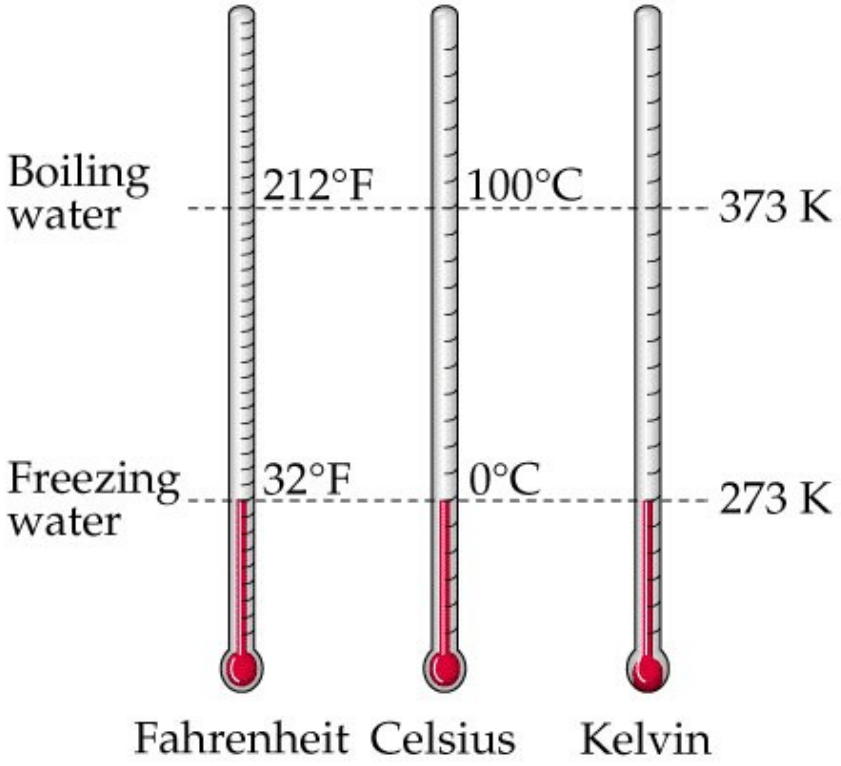
* اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ماده در صورتی که وابستگی دمایی مقاومت شناخته شده باشد.

دماسنج‌های متداول دیگر بر پایه ناخالص‌سازی (doping) سنسورهای ژرمانیوم و کربن قرار داده شده‌اند که در مقایسه با پلاتینیوم، مقاومت الکتریکی این دماسنجها افزایش می‌یابد بطوریکه خنک می‌شوند.

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.



$$^\circ\mathrm{C} = \frac{5}{9}\left(^\circ\mathrm{F} - 32\right)$$

$$^\circ\mathrm{F} = \frac{9}{5}{}^\circ\mathrm{C} + 32$$

$$\mathrm{K} = 273.15 + {}^\circ\mathrm{C}$$

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.

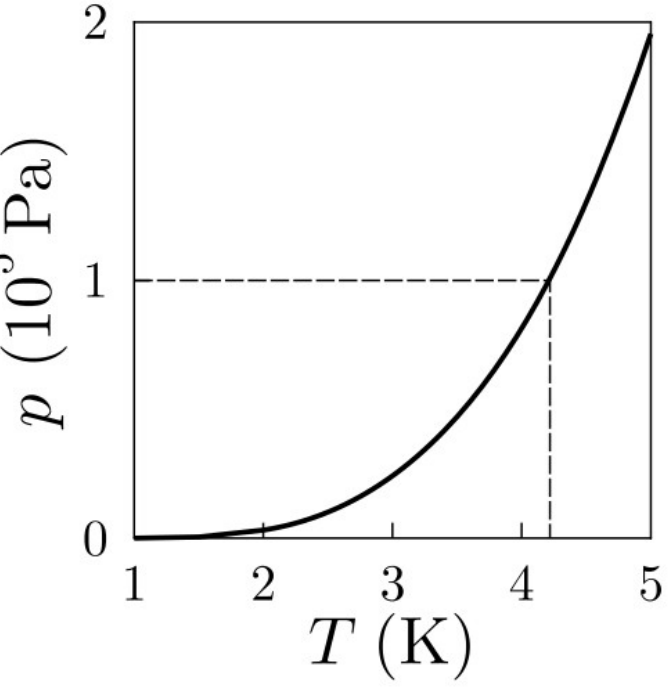
* با استفاده از معادله گاز ایده‌ال می‌توان دمای یک گاز را بوسیله‌ی فشار آن در حجم ثابت اندازه گیری کرد. این استراتژی به خوبی به عنوان معادله گاز ایده آل کار می کند، اگر چه گازهای با درجه حرارت بسیار پایین تبدیل به مایع می‌شوند که از معادله گاز ایده‌آل انحراف نشان می‌دهد.

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

- برای اینکه یک دماسنج خوب کار کند، **ظرفیت گرمایی** آن باید **خیلی پایین‌تر** از جسمی باشد که می‌خواهیم دمای آنرا اندازه‌گیری کنیم. اگر این حالت برقرار نباشد عمل اندازه‌گیری، دمای جسمی که باید دمایش معلوم شود را تغییر می‌دهد.

* برای سیستم‌های برودتی مفید است که یک مایع با بخارش همزیستی دارد و فشار بخار را اندازه‌گیری می‌کند. برای مثال، هلیم مایع بصورت نشان داده شده در شکل زیر فشار بخار وابسته به دما دارد



دما و فاکتور بولتزمن

همه روشهای یاد شده از ویژگیهای قابل اندازه‌گیری مانند مقاومت و فشار استفاده می‌کنند که بستگی به رفتار دمایی دارند. با وجود این هیچ کدام در ناحیه مورد مطالعه خطی نیستند. برای مثال

* جیوه در دماهای بسیار پایین جامد می‌شود و در داماهای خیلی بالا گاز می‌شود.
* پلاتینیوم در دماهای پایین اشباع می‌شود و در دماهای بالا ذوب می‌شود.

با وجود این

کدام دماسنج‌ها کامل هستند؟ و **کدام مقدار دما را واقعی‌تر می‌دهند؟**

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

دما و فاکتور بولتزمن

بنظر نیازمند تعریف مطلقی از دما بر اساس فیزیک بنیادی هستیم.

* در قرن نوزدهم یکی از این تعریف ها یافت شد که براساس یک ماشین فرض به نام کارنو قرار داده شده بود.
* سپس به این نتیجه رسیدند که دما را می توان با توجه به یک استدلال صرفا آماری با استفاده از ایده‌هایی از نظریه احتمالات تعریف کرد.

ماکروحالتها (microstates) و میکروحالتها (macrostates) را که برای این استدلال مورد نیاز است که در جلسه بعد معرفی خواهیم کرد.

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم