

دانش اگر در ثریا هم باشد مردمانی از سرزمین پارس بر آن دست خواهند یافت.

پیامبر اعظم (ص)

شرح جامع و نمونه سوالات

مکانیک آماری

«فیزیک»

مولف: منا درخوش

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مولف

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

با توجه به کمبود کتب مناسب در رشتهٔ فیزیک بالاحض درس مکانیک آماری روبه‌رو هستیم از این‌رو کتاب مذکور در جهت ارتقاء سطوح علمی شرکت‌کنندگان کنکور فوق لیسانس تهیه و تدوین شده است. محتوای کتاب به نحوی ترتیب و تنظیم یافته که به آموزش این درس خدشه‌ای وارد نکند و با شرط استفادهٔ صحیح از آن یک عامل مفید و آموزنده برای استفاده دانشجویان قرار گیرد. به خوانندگان این کتاب توصیه می‌شود که ابتدا صورت مسائل را به طور کامل و با دقت کافی بخوانند و مفروضات را کاملاً مشخص نمایند و تا خود تلاش به حل آن ننموده‌اند. به جواب آن مراجعه ننمایند.

مکانیک آماری علم پیش‌بینی خواص مشاهده‌پذیر یک دستگاه چند ذره‌ای، با مطالعه آماری رفتار ذرات تشکیل دهندهٔ آن: اتم‌ها، مولکول‌ها و غیره است. این علم پیوندی بین حالت‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی را فراهم می‌کند.

به تجربه دریافته‌ایم که تقریباً همه دانشجویان به علت پیچیدگی ریاضیاتی که با آنها مواجه می‌شوند در ارزیابی زیبایی این پل ارتباطی، ناکام می‌مانند.

سعی فراوان نموده‌ایم مسائل به طور خوانا و کاملاً واضح باشد. با این وجود مسلماً کتاب خالی از اشتباه نمی‌باشد، لذا مشتاقانه منتظر پیشنهادهای سازنده دوستان عزیز هستیم.

در پایان بر خود لازم می‌دانم مراتب تشکر و قدردانی خود را از تمامی اساتیدی که در ویراستاری علمی کتاب مرا یاری نموده‌اند و مؤسسه انتشارات ارشد که زحمت چاپ کتاب را به عهده گرفته است. اعلام دارم.

همانطور که در مقدمه توضیح داده شده و همان‌طور که از نامش پیداست، بیشتر یک راهنمای ماندگار از مکانیک آماری است تا یک بررسی دقیق و عمیق آن. انگیزهٔ ما در این بررسی آن بوده است که بدون افتادن در باتلاق ریاضیات پیچیده و جزئیات دقیق شرکت‌کنندگان در کنکور کارشناسی ارشد با توجه به کمبود وقت بتوانند کمکی قابل توجه مسائل و مفاهیم موجود در این کتاب بگیرند.

روشن است که دانشجویان کوشا به مقدار زیادی از مطالعه سایر کتب در مورد این موضوع به روشی دقیق‌تر و قطعی‌تر بهره می‌گیرند. کتاب‌هایی که در انهتای کتاب فهرست شده است نمونه‌هایی هستند که در آموزش این موضوع مفید یافتیم.

با تشکر

مونا درخوش

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مولف ۴

فصل اول: حالت تعادل

۱-۱- حالتهای میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک ۹
۱- ۲- حالت تعادل ۱۲
۱-۲-۱- خصوصیات تعادل ۱۳
۱-۳ انواع فرآیندها ۱۳
خلاصه فصل ۱۵
مسائل فصل اول ۱۶
حل مسائل فصل اول ۱۷

فصل دوم: حالت های غیرتعادلی

مقدمه ۲۳
۲- ۱ دستگاههای ماکروسکوپیک ۲۳
۲-۲ فشار گاز ۲۴
۲-۳ مسافت آزاد میانگین ۲۵
۲-۴ چسبندگی و انتقال اندازه حرکت ۲۷
۲-۵ رسانایی حرارتی و انتقال انرژی ۲۸
۲-۶- خودپخشی و انتقال مولکول‌ها ۲۹
۲-۷- رسانایی الکتریکی و انتقال بار ۳۰
خلاصه فصل ۳۱
مسائل فصل دوم ۳۲
حل مسائل فصل دوم ۳۴

عنوان ..... صفحه

فصل سوم: مجموعه هنگردهای آماری

مقدمه ۴۱
۳-۱- مجموعه هنگردهای آماری ۴۱
۳-۲- محاسبه احتمالات ۴۲
۳-۲-۱ توزیع پواسون ۴۲
کاربرد توزیع پواسون ۴۲
۳-۲-۲ توزیع فوق هندسی ۴۳
۳-۳- اصول موضوعهٔ آماری ۴۵
۳-۴- تعداد حالتهای کوانتومی Ω یک دستگاه ۴۵
۳-۴-۱- دستگاهی متشکل از N اسپین ۴۵
۳-۴-۲- گاز N ذره‌ایی در داخل جعبه ۴۶
مسائل فصل سوم ۴۸
حل مسائل فصل سوم ۴۹

فصل چهارم: توزیع انرژی

۴-۱- برهم کنش گرمایی ۵۵
۴-۱-۱- برهم کنش بی دررو ۵۵
اصل اول ترمودینامیک ۵۶
۴-۲- توزیع انرژی بین دستگاههای ماکروسکوپیک ۵۷
۴-۳ آنتروپی ۵۹
۴-۴- شرایط تعادل حرارتی ۶۲
اصل صفرم ترمودینامیک ۶۳
خلاصه فصل ۶۵
مسائل فصل سوم ۶۶
حل مسائل فصل چهارم ۶۸

فصل پنجم: توزیع کانونیک

مقدمه ۷۵
۵-۱- توزیع کانونیک ۷۶
۵-۱-۱- تابع پارش ۷۸
۵-۲- پتانسیل شیمیایی ۸۰
۵-۳- قضیه همپاری ۸۲
۵-۴- ظرفیت حرارتی ۸۴
۵-۳-۱- توزیع ماکسولی سرعتها ۸۶
خلاصه فصل ۸۹
مسائل فصل پنجم ۹۱
حل مسائل فصل پنجم ۹۳

فصل اول

حالت تعادل

عناوین اصلی

- حالتهای میکروسکوپسک و ماکروسکوپیک
- حالت تعادل
- خصوصیات تعادل
- مسائل
- حل مسائل

فصل اول

حالت تعادل

مکانیک آماری کاربرد تئوری احتمالات است و شامل ابزاری ریاضی به منظور بررسی رفتار حرکت ذرات و یا اجسامی با تعداد زیادی مولکول که تحت تأثیر یک نیروی خارجی قرار دارند، می‌باشد. این رشته خواص میکروسکوپیکی اتم ها و مولکول‌های ماده را به خواص ماکروسکوپی آن مربوط می‌سازد.

در بخش‌های آینده در مورد دو مفهوم اساسی در مکانیک آماری برای یک سیستم منزوی بحث می‌کنیم. این دو مفهوم به سؤالاتی مانند اینکه آنتروپی چیست و چرا قانون دوم ترمودینامیک در مکانیک آماری کاربرد فراوان دارند، جواب می‌دهند.

۱-۱- حالتهای میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک

سیستمی با N ذره را در نظر می‌گیریم که با محیط اطراف خود تبادل ذره و انرژی نداشته باشد. به عبارت دیگر N و E که به ترتیب نماد ذرات موجود در آن و انرژی کل سیستم می‌باشند، اعدادی ثابت هستند. از طرفی، ذرات داخل سیستم با یکدیگر برهم کنشی ضعیف خواهند داشت ولی انرژی رد و بدل شده بین آنها به عنوان انرژی پتانسیل در سیستم ذخیره نخواهد شد. در این صورت انرژی کل سیستم برابر خواهد بود با:

$$E = \sum_i n_i \varepsilon_i$$

که در آن n_i چگالی ذرات موجود و ε_i انرژی هر ذره در داخل سیستم است.

تعداد کل ذرات $$N = \sum n_i$$

براساس مکانیک کوانتومی، انرژی هر ذره کمیتی گسسته است، در نتیجه انرژی کل سیستم یعنی E هم کمیتی گسسته خواهد شد.

اگر بخواهیم همین سیستم را در سطح مولکولی مورد توجه قرار دهیم، تعداد راههای زیادی وجود دارد که مولکول های آن در یک سطح انرژی قرار بگیرند. هر کدام از این راههای مختلف را یک میکرو حالت می‌گویند.

برای محاسبه میکرو حالتهای سیستمی که دارای تراز انرژی است، باید از معادله شرودینگر، مقدار ویژه انرژی را انرژی کل E و تعداد میکرو حالتها را با Ω مشخص می‌کنیم. حالتهای میکروسکوپیکی سیستم را می‌توان با مشخص کردن حالت

کوانتومی خاص که دستگاه در آن حالت قرار دارد، به طور کامل توصیف کرد. به هر حالت کوانتومی یک دستگاه منزوی، مقدار معینی از انرژی به آن وابسته است که به آن یک تراز انرژی گفته می‌شود.

مثال ۱:

در یک گاز ایده آل (کامل) که حاوی N مولکول است. انرژی کل آن E مقدار ثابتی خواهد داشت که این انرژی همان انرژی جنبشی بین مولکول های گاز است.

مثال ۲:

در یک مدل مغناطیسی (آهنربا) که شامل N اتم با ممان دوقطبی های مغناطیسی هستند و در داخل میدان مغناطیسی به اندازه H قرار دارند، مقدار انرژی به دوصورت دیده می‌شود: $E=-m\cdot H$

(حالت پایه) اگر m هم جهت با H باشد $\leftarrow$ $E=-m\cdot H$

(حالت برانگیخته) اگر m خلاف جهت با H باشد $\leftarrow$ $E=m\cdot H$

نکته: زمانی که انرژی ذرات میکروسکوپیک تغییر می‌کند، انرژی میکرو حالت دستگاه هم تغییر خواهد کرد.

برای توصیف بهتر ماکرو حالت یک دستگاه، ابتدا باید متغیر های ماکروسکوپیکی سیستم را اندازه گیری و مشخص کنیم.

نکات

- نکته ۱- خواص ماکروسکوپی، خصوصیات رفتاری تعداد زیادی از ذرات موجود در سیستم می‌باشد.
- نکته ۲- برای تعیین بعضی از متغیر های ماکروسکوپیکی، قید هایی وجود دارد. به عنوان مثال برای یک سیستم منزوی ، انرژی کل و تعداد ذرات باید اعدادی ثابت باشند.
- نکته ۳- برخی از متغیرهای ماکروسکوپیکی برای اندازه‌گیری نیازی به قید ندارند.

به عنوان مثال فرض کنید تعداد N مولکول در داخل جعبه ای قرار دارند. در این گاز کامل، تعداد مولکول های موجود در نیمه چپ جعبه می‌تواند مقدارهای متناوبی به خود بگیرند.

با توجه به مطالب ذکر شده، ماکرو حالت دستگاه به متغیر های ماکروسکوپیکی وابسته است که به نوع انتخاب ما بستگی داردو به عبارت دیگر در انتخاب ماکروحالتها آزادی عمل بیشتری داریم.

« برای هر ماکرو حالت، تعداد زیادی میکرو حالت وجود دارد. »

ماکرو حالتها به طور معمول با متغیرهای ماکروسکوپیکی N و E و $\{\alpha\}$ مشخص می‌شوند. $\{\alpha\}$ متغیری دلخواه مانند حجم V است که به نوع دستگاه و شرایط آن بستگی دارد و مختص یک دستگاه نمی‌باشد.

همانطور که گفته‌شد، تعداد میکرو حالتهایی که ماکرو حالت دستگاه را مشخص می‌کنند با Ω نشان می‌دهند.

مثال:

در یک آهنربا که دارای N ذره با ممان مغناطیسی m است، تعداد میکرو حالت ها را محاسبه کنید.

n_1 : انرژی تعداد دو قطبی ها در حالت ۱ : $\varepsilon=-m\cdot H$

n_2 : انرژی تعداد دو قطبی ها در حالت ۲ : $\varepsilon=m\cdot H$

قید هایی که باید در نظر گرفته شوند:

$$\begin{cases} n_۱ + n_۲ = N \\ n_۲ - n_۱ = \dfrac{E}{m \cdot H} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n_۱ = \dfrac{۱}{۲}\left(N - \dfrac{E}{m \cdot H} \right) \\ n_۲ = \dfrac{۱}{۲}\left(N + \dfrac{E}{m \cdot H} \right) \end{cases}$$

تعداد راههایی که می‌توان $n_۲$ دو قطبی را از تعداد مولکول های کل N تشخیص داد، همان تعداد میکرو حالت های این دستگاه می‌باشد.

$$\Omega(N,\varepsilon) = \binom{N}{n_۲} = \frac{n!}{n_۱! n_۲!}$$

اگر $N = ۳$ باشد. ماکرو حالتهایی که دستگاه می‌تواند در آن ها قرار بگیرد $n = ۰,۱,۲,۳$ خواهد بود.
در این صورت Ω را می توانیم محاسبه کنیم.

ماکرو حالت	میکرو حالت	تعداد Ω
$n = ۰$	↑↑↑	۱
$E = -۳mH$		
$n = ۱$	↓↑↑	۳
$E = -mH$	↑↓↑	
	↑↑↓	
$n = ۲$	↓↓↑	۳
$E = mH$	↓↑↓	
	↑↓↓	
$n = ۳$	↓↓↓	۱
$E = ۳mH$		

اگر تعداد N خیلی زیاد باشد و N عدد بزرگی شود، باید از تقریب استیریلینگ استفاده کنیم:

$$\ln \Omega(N,\varepsilon) = N \ln N - N - n \ln n + n - (N-n)\ln(N-n) + N - n$$

$$\rightarrow \ln \Omega(N,\varepsilon) = N\left[\ln N - \frac{n}{N}\ln n - \left(۱ - \frac{n}{N}\right)\ln(N-n) \right]$$

$$\rightarrow \ln \Omega(N,\varepsilon) = N\left[-\frac{n}{N}\ln\left(\frac{n}{N}\right) - \left(۱ - \frac{n}{N}\right)\ln\left(۱ - \frac{n}{N}\right) \right]$$

بنا بر این خواهیم داشت:

$$\frac{۱}{N}\ln \Omega(N,\varepsilon) = S\left(\frac{n}{N}\right)$$

به طوری که

$$S(x) = -(۱-x)\ln(۱-x) - x\ln(x)$$

باید توجه کرد که

در $x=\frac{۱}{۲}$ مقدار $S(x)$بیشینه است.

در $x=\frac{۱}{۲}$ مقدار $S(x)$ مقداری متقارن خواهد بود. $S(x)=S(۱-x)$

$$\Omega(N,\varepsilon)=\exp(NS(x))$$

۱- ۲- حالت تعادل

یک حالت تعادل با مقادیر پارامترهای ماکروسکوپیک مشخص می شود. مقادیر ماکروسکوپیک P ، V وT روشهای اندازه گیری P وV نیاز به توضیحات اضافی ندارند.

یک گاز ایده آل می تواند به صورت گازی که از قانون بویل- ماریوت برطبق قاعده زیر تبعیت می کند، تعریف شود.

برای یک گاز با جرم ثابت، فشار حاصل شده توسط حجم فقط بستگی به درجه حرارت دارد. می دانیم که درجه حرارت ثابت همان دمای ثابت است. بنابراین منظور ما با بیان درستی قانون بویل- ماریوت برای تمامی دماهای ممکنه، کاملاً واضح است. در حالیکه خود دما هنوز تعیین نشده است. در نتیجه ما می توانیم قبل از تعریف نحوهٔ اندازه گیری درجه حرارت، ایده آل بودن یک گاز را بررسی کنیم.

دستگاهی را در حالت تعادل می‌گویند که حالت ماکروسکوپیک آن نسبت به زمان تغییر نکند.

به عنوان مثال، گاز کاملی حاوی N ذره در داخل یک جعبه را در نظر بگیرید. اگر n تعداد مولکول‌هایی که در سمت چپ جعبه و `n را تعداد مولکول‌هایی که در سمت راست جعبه است، بگیریم، آنگاه احتمال یافتن n مولکول در نیمه چپ خواهد بود:

$$p_n=\frac{C_{(n)}}{۲^N}$$

$C_{(n)}$ تعداد پیکربندی‌های ممکن مولکول‌ها در حالتی است که n مولکول از N مولکول کل در سمت چپ قرار می‌گیرند.

با مشخص کردن تعداد مولکول‌هایی که در یک لحظه غیر مشخص در یک قسمت از جعبه قرار دارند، حالت ماکروسکوپیک یا ماکرو حالت گاز را در همان لحظه می‌توان به نحو کاملاً دقیق مشخص کرد.

از دیدگاه ماکروسکوپیک، گازی منزوی که برای مدتها بدون اختلال رها شده است وضع بسیار ساده‌ای دارد. زیرا حالت ماکروسکوپیکی آن تمایلی ندارد برحسب زمان دچار دگرگونی و تغییر شود.

برای اینکه مفهوم میانگین زمانی را بهتر بیان کنیم، تعداد مولکول‌ها را در داخل جعبه در لحظهٔ t با n(t) نشان می‌دهیم. مقدار میانگین زمانی n در لحظهٔ τ، در فاصله زمان t با $\overline{n(t)}$ نشان داده می‌شود:

$$\overline{n(t)}=\frac{۱}{\tau}\int_t^{t+\tau} n(t')dt'$$

اگرچه در یک گاز در حال تعادل، n به $\frac{N}{۲}$ خیلی نزدیک است. مقادیری از n نیز که با $\frac{N}{۲}$ خیلی متفاوت می‌باشند هم وجود دارد.

زمان واهلش: زمان تقریبی لازم برای یک افت و خیز بزرگ

به طور خلاصه اگر n مقداری بسیار متناوب با $\frac{N}{۲}$ به خود بگیرد، تقریباً در سویی تغییر می‌کند که به مقدار تعادل خود یعنی $\frac{N}{۲}$ نزدیک شود. اگر یک دستگاه منزوی در وضع محسوساً ناکاتوره‌ایی باشد، برحسب زمان تحول خواهد یافت تا نهایتاً به کاتوره‌ایی‌ترین وضع نزدیک شده و به حالت تعادل برسد.

ما یک فرآیند را تحول یا انتقال از یک حالت تعادل به حالت تعادی دیگر می نامیم. یعنی انتقال از برخی مقادیر، مربوط به پارامترها، به مقادیر دیگر. در این تعریف ضروری است که حالتهای اولیه و نهایی، حالتهای تعادل باشند.

۱-۲-۱- خصوصیات تعادل

حالت ماکروسکوپیک یک دستگاه در حال تعادل، عبارت است از کاتوره‌ای‌ترین حالت ماکروسکوپیکی دستگاه تحت برخی شرایط.

به عبارت دیگر، حالت تعادل ماکرو حالت، مستقل از تاریخ گذشته دستگاه است. در نتیجه می‌توان حالت تعادل را با تعداد کمی پارامتر ماکروسکوپیکی تعیین کرد.

۱-۳ انواع فرآیندها

۱) فرآیند ناترازمندی یا عدم تعادل
۲) فرآیند تعادل
۳) فرآیند برگشت پذیر
۴) فرآیند برگشت ناپذیر

الف) فرآیندهای ناترازمندی یا عدم تعادل: فرض کنید برای مثال باید به یک حالتی با حجم متفاوت برسیم. واضح است که اگر تحول به آرامی انجام نشود، فشار به همراه دما برای مدت زیادی در این حجم ثابت نخواهد ماند. در حالت کلی، صحبت دربارهٔ هر فشار و دمای معینی بی معنی خواهد بود. چون آنها در نقاط مختلف متفاوت هستند. به علاوه، توزیع فشار و دما در یک حجم فقط به حالتهای اولیه و نهایی بستگی ندارد، بلکه به نحوهٔ انجام این تحول نیز وابسته است. بنابراین حالتهای میانی در یک چنین فرآیندی، ناترازمند هستند. این فرآیند، فرآیند ناترازمندی (فرآیند عدم تعادل) نامیده می شود.

ب) فرآیند تعادلی: یک تحول می تواند به طرق مختلفی تکامل یابد. یعنی بینهایت آرام صورت گیرد. بعد از یک تغییر بسیار کوچک در پارامترها، تغییر بعدی تا رسیدن سیستم به حالت تعادل صورت نمی گیرد، یعنی تمام پارامترها در سراسر سیستم با مقادیر ثابت فرض می شوند. بعد از آن مرحله بعدی صورت می گیرد و به همین ترتیب ادامه می یابد. بنابراین تمامی فرآیند، شامل حالتهای تعادلی متوالی است. چنین تعادلی، فرآیند تعادلی نامیده می شود. در معادله حالت یک گاز ایده آل، دوتا از پارامترها (هرکدام) می توانند به عنوان پارامترهای مستقل در نظر گرفته شوند و مشخص کننده فرآیند باشد. یک نمونه از این فرآیند در انتقال حرارت در نظر گرفته می شود. در هر نقطه از این فرآیند، دما منحصراً از معادله حالت به دست می آید.

ج) فرآیندهای برگشت پذیر و برگشت ناپذیر: فرآیندی که در تحول برگشت از حالت نهایی به حالت اولیه توسط حالت میانی، نظیر فرآیند جلوبرنده، انجام گیرد، فرآیند برگشت پذیر نامیده می شود.

اگر فرآیند برگشت، به وسیله همان حالت میانی غیرممکن باشد، فرآیند برگشت ناپذیر است. واضح است که یک فرآیند غیرتعادلی در حالت کلی نمی تواند برگشت پذیر باشد. از طرف دیگر، یک فرآیند تعادلی هموار، برگشت پذیر است. البته این

به آن معنا نیست که مفهوم فرآیند برگشت پذیر، معادل یک فرآیند بسیار آرام (کند) باشد. برخی فرآیندهای بینهایت آرام غیرقابل برگشت هستند. برای مثال تغییرشکل مومسان (پلاستیکی) جامدات ممکن است به صورت بینهایت آرام صورت گیرد. ولی با وجود این یک فرآیند برگشت ناپذیر است.

بنابراین از این پس فقط فرآیندهای برگشت پذیر را در نظر خواهیم گرفت. به مثالی در مورد انبساط هم دما در یک گاز توجه کنید. گازی با حجم اولیه در ظرفی که با پیستونی ریخته شده است. بعد از اینکه حجم گاز افزایش یافت، انتقال بعدی دانه های شن و ماسه از روی پیستون متوقف می شود. گاز مراحل متوالی را طی کرده است که در هرکدام از مراحل مقادیر حجم و فشار معین بوده در حالیکه درجه حرارت ثابت می ماند. کار انجام گرفته توسط گاز برای راندن هوای اتمسفری از حجمی است که اکنون توسط گاز در داخل سیلندر اشغال شده است و پیستون به همراه شن تا ارتفاع مشخصی بالا برده شده است. دانه های شن که به منظور بالابردن پیستون تا ارتفاعهای مختلف در آنجا قرار داده شده است، برداشته می شوند.

حال بیایید به تدریج پیستون را با دانه های شن پر کنیم که قبلاً به منظور بالابردن پیستون برداشته شده بودند و آن را به ارتفاع اولیه برسانیم. این دانه های شن، جرم پیستون را افزایش می دهند. در نتیجه فشار گاز افزایش می یابد و با شروع فشرده شدن، حجم آن کاهش می یابد. کل فرآیند در جهت معکوس انجام می گیرد و دما به علت مبادله گرما با محیط پیرامون در یک مقدار ثابت باقی می ماند. فشار گاز مربوط به هرکدام از وضعیتهای سیلندر نظیر فرآیند انبساط گاز است. در نتیجه، با کاهش حجم، گاز موجود در سیلندر تمامی حالتهای فرآیند انبساط را طی می کند. ولی این بار نظم در جهت عکس است.

همچنین گاز می تواند به صورت برگشت ناپذیر انبساط یابد. برای مثال با برداشتن سریع تمامی دانه های شن از روی پیستون، وقتی که پیستون در پایین ترین موقعیت است. در این صورت جرم پیستون بدون شن به اندازهٔ کافی سبک خواهد بود. تحت این شرایط، پیستون با شتاب زیادی به سمت بالا حرکت خواهد کرد و در نتیجه حجم گاز افزایش خواهد یافت. در این حالت درجه حرارت تغییر می کند و در قسمتهای مختلف حجم سیلندر مقادیر مختلفی را خواهد داشت و فقط حجم گاز مقدار معینی را دارا خواهد بود. حالت گاز موجود در سیلندر با هیچ یک از مقادر و قابل توصیف نیست. بدین علت فرآیند نمی تواند با یک خط پیوسته نظیر فرآیندهای برگشت پذیر نمایش داده شود.

🕮 نکات

- نکته ۱ : تمامی حالتهای میانی در یک فرآیند تعادلی، حالتهای متعادل هستند. در حالی که حالتهای میانی در یک فرآیند ناترازمند، شامل حالتهای ناترازمندی هستند.
- نکته ۲ : تغییر حالت در یک سیستم همواره با یک تحول غیرتعادلی یادآوری می شود. هرچه تغییر در سیستم سریعتر صورت گیرد، اهمیت انحراف از حالت غیرتعادلی بیشتر می شود. برای برگشت به حالت تعادل مقدار زمان زیادی لازم است. از این رو با تغییر حالت سیستم به صورت آرام. ما سیستم را از حالت تعادل خارج نخواهیم کرد و از طرف دیگر، با زمان دهی کافی به سیستم برای برگشت به حالت تعادل در هر مرحله میانی، سیستم از حالت تعادل خارج نخواهد شد. در نتیجه سیستم حالتهای تعادلی متوالی را طی خواهد کرد.