



تقديم به مولای عزیزم

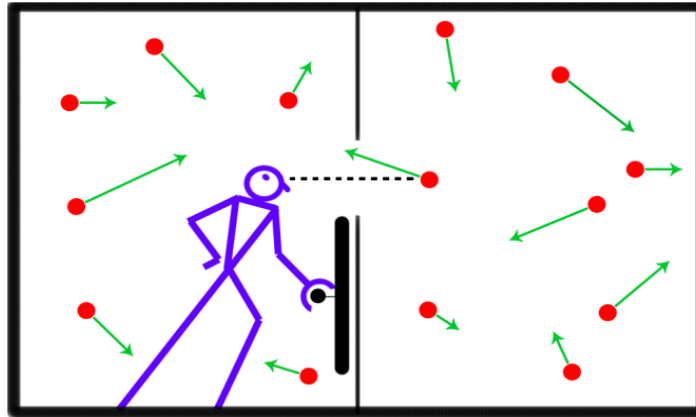
امام موسی بن جعفر
«عليه السلام»

حل جدیدی پیرامون پارادوکس شیطانک ماکسول

زیر نظر دکتر مهدی گلشنی

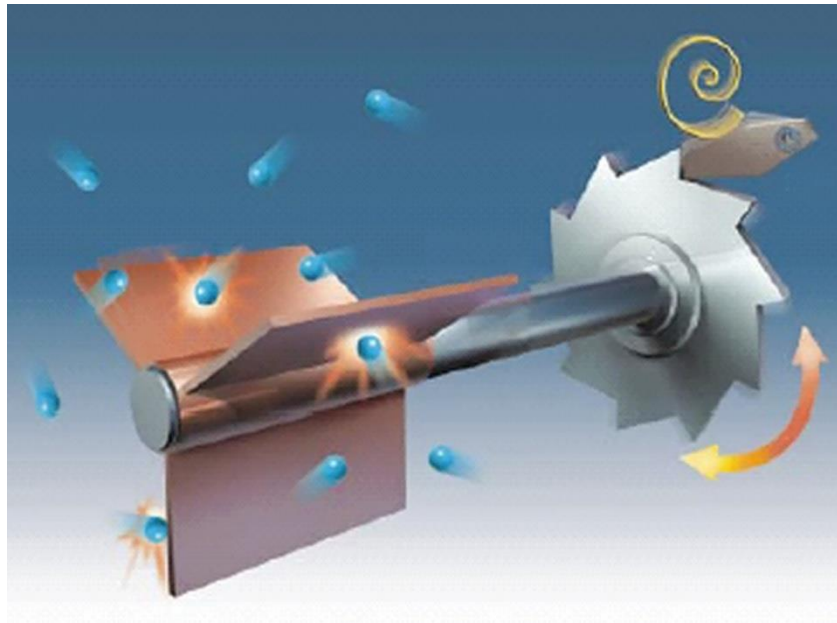
ارائه دهنده: محمد جمالی

صورت مسأله



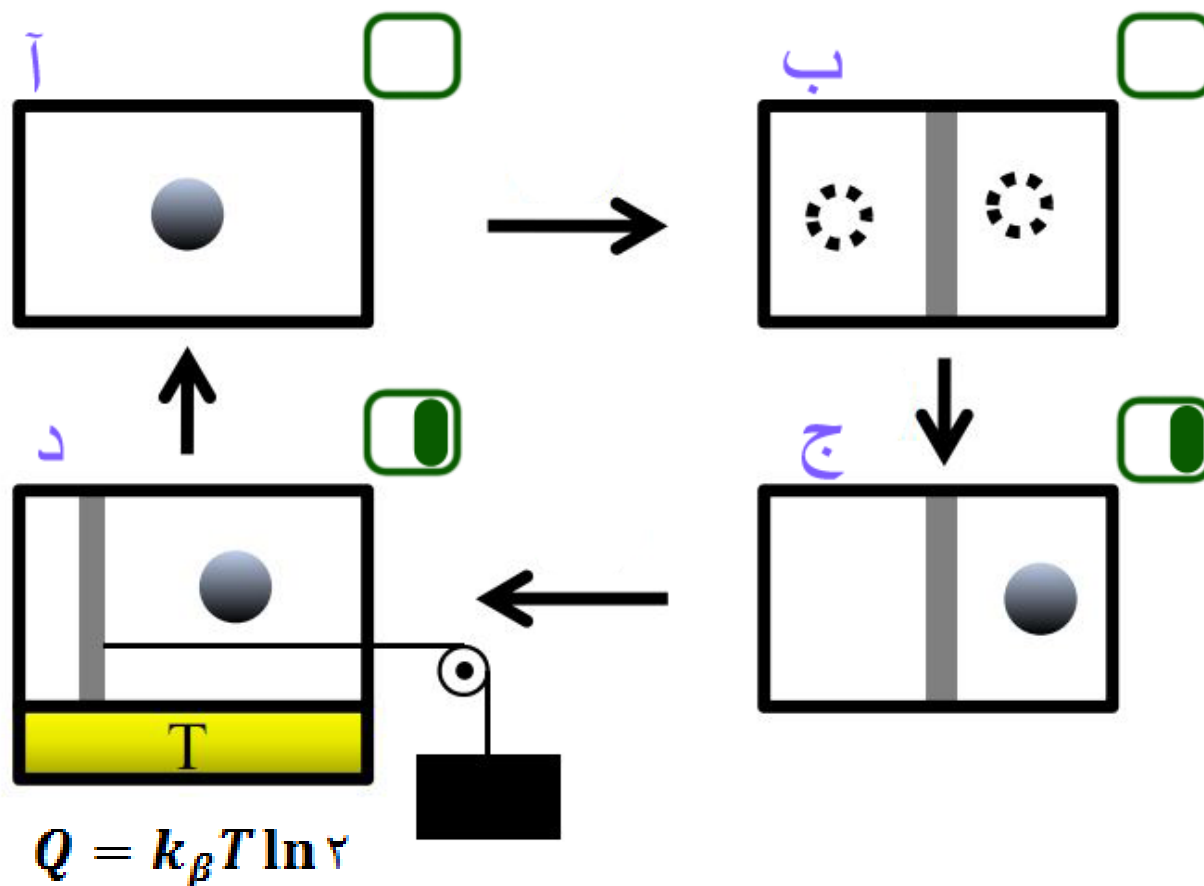
پاسخ‌های موجود

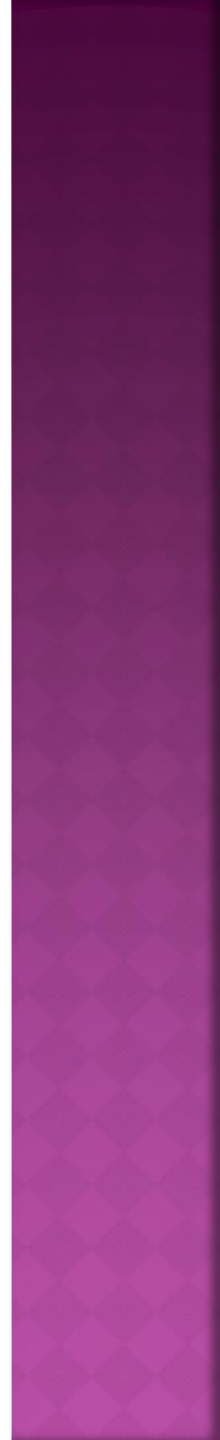
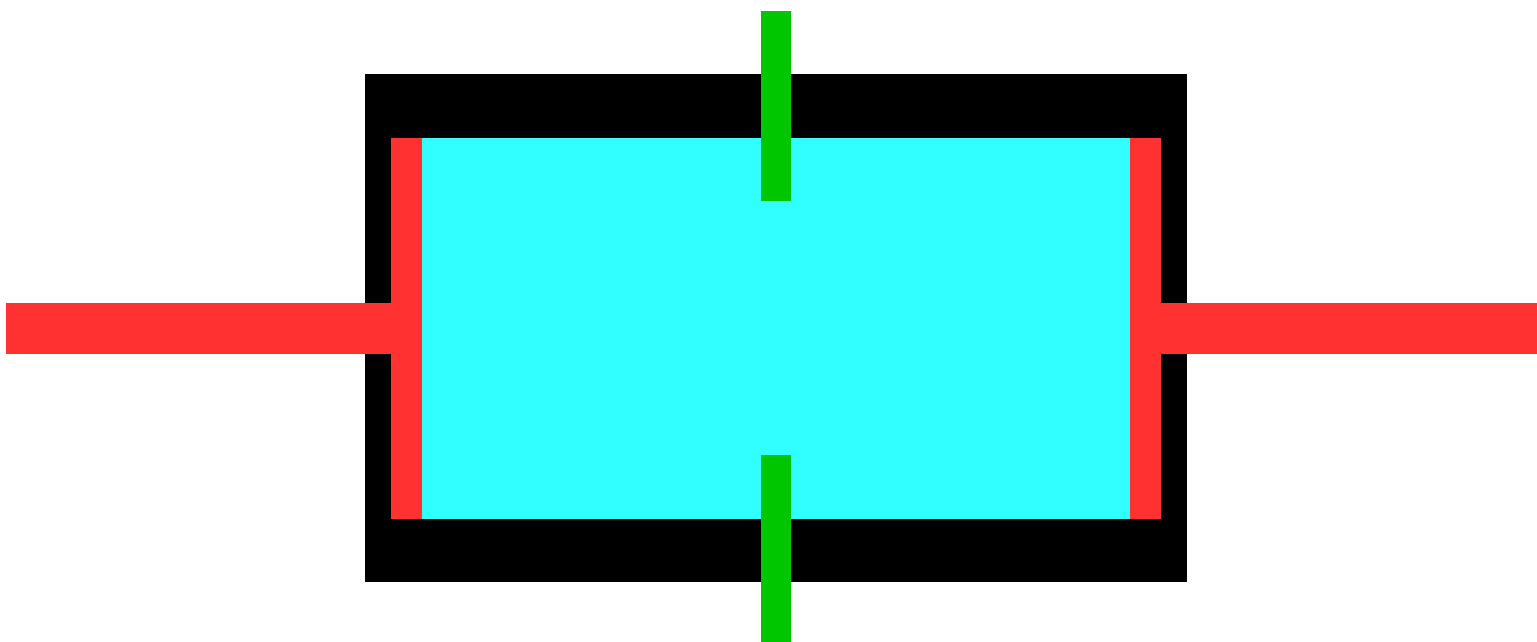
● تبدیل شیطانک به ماشین مکانیکی



پاسخ‌های موجود

- تبدیل شیطانک به يك پردازشگر به همراه حافظه (كامپیوتر)
- شیطانک = يك مخلوق زیرك كوچك، يعني موجودی با توانایی مشاهده میکروسکوپی بالا، سریع و دارای يك حافظه





تحلیل صورت مسئله

● سؤال اصلی جناب ماکسول:

- اگر موجودی غیر ترمودینامیکی بنام شیطانک داشته باشیم، چه الزامی دارد که اصل دوم برای وی صادق باشد.
- هدف: زیر سؤال بردن عمومیت درستی اصل دوم ترمودینامیک برای تمام پدیده‌های عالم

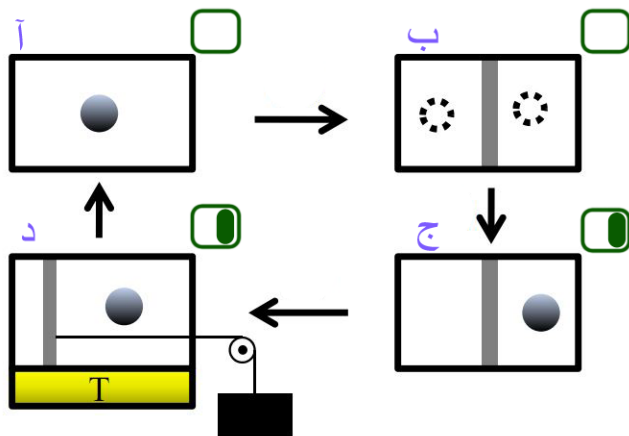
● آیا مجموعه‌ای شامل یک دستگاه ترمودینامیکی به اضافه یک موجود غیرترمودینامیکی فیزیکی که با هم در ارتباط هستند، از اصل دوم تبعیت می‌کند؟

● آیا این مجموعه فیزیکی خود یک دستگاه ترمودینامیکی است؟

مراحل

◉ کسب اطلاع از حالت دقیق تر دستگاه.

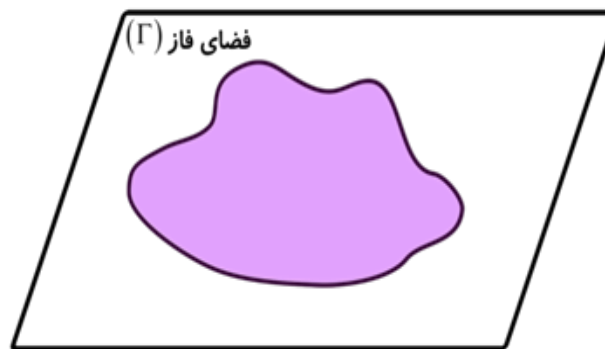
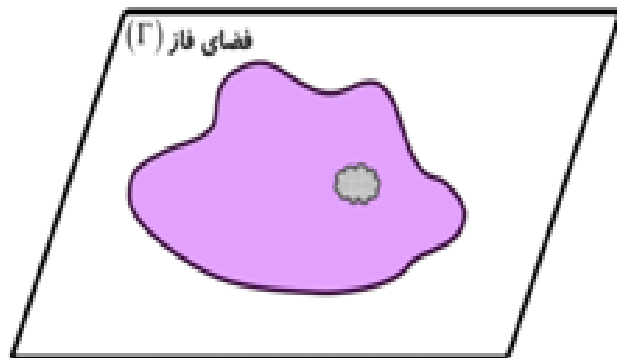
◉ تحول و حرکت دستگاه به سمت آنتروپی کمتر نسبت به آنتروپی اولیه.



◉ کدام مرحله این تقلیل آنتروپی رخ می دهد؟ و کدام مرحله با اصل دوم در تناقض است؟

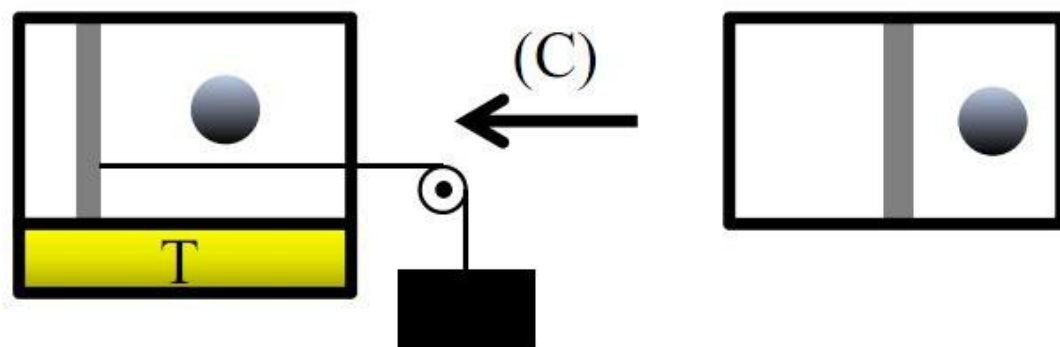
کدام مرحله این تقلیل آنتروپی رخ می‌دهد؟

◉ در مرحله نخست، کسب اطلاع از حالت دقیق‌تر دستگاه به منزله کاهش حجم در فضای فاز مربوطه است. زیرا این حالت دقیق‌تر نماینده تعداد حالات میکروسکوپی کمتری نسبت به قبل است.



کدام مرحله این تقلیل آنتروپی رخ می‌دهد؟

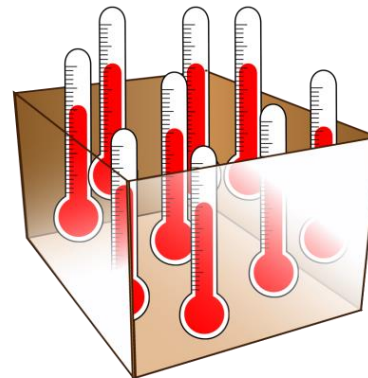
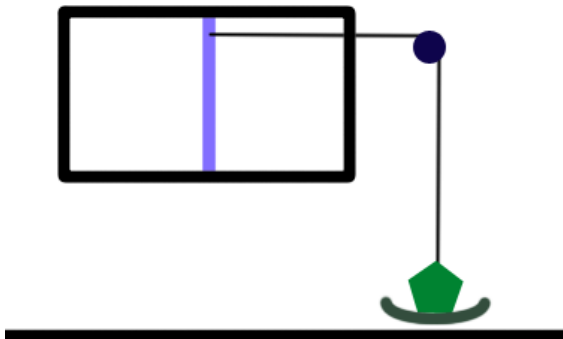
- مرحله دوم عبارت است از حرکت و تحول دستگاه از این حالت با آنتروپی کم به سمت حالتی با آنتروپی بیشتر یا مساوی
- این مرحله مجاز است و تناقضی با اصل دوم ترمودینامیک ندارد.



بررسی مرحله نخست

◉ کسب اطلاع از حالت دقیق تر دستگاه دو گونه است:

- کسب اطلاع دقیق تر ماکروسکوپی
- کسب اطلاعات دقیق تر میکروسکوپی



کسب اطلاع دقیق‌تر ماکروسکوپی

◉ کاهش ناشی از جهل ناظر بوده است و فی‌الواقع کاهش آنتروپی رخ نداده است. آنتروپی در حقیقت کم بوده است ولی شیطانک نمی‌دانست، پس از کسب اطلاعات ماکروسکوپی، آنتروپی دقیق‌تر دستگاه را فهمید و این با اصل دوم در تناقض نیست

کسب اطلاعات دقیق‌تر میکروسکوپی

- دقیق شدن اطلاعات میکروسکوپی برچسب های ماکروسکوپی را عوض نخواهد کرد.
- آنتروپی متناسب با حجم فضای فاز مربوط به حالت ماکروسکوپی است.

پس آنتروپی تغییر نکرده است!

- میزان اطلاعات میکروسکوپی بدست آمده:

$$I_m = \ln l_m ; l_m = \text{تعداد حالت های میکروسکوپی}$$

حلقه مفقوده

◉ یک مرحله جا مانده:

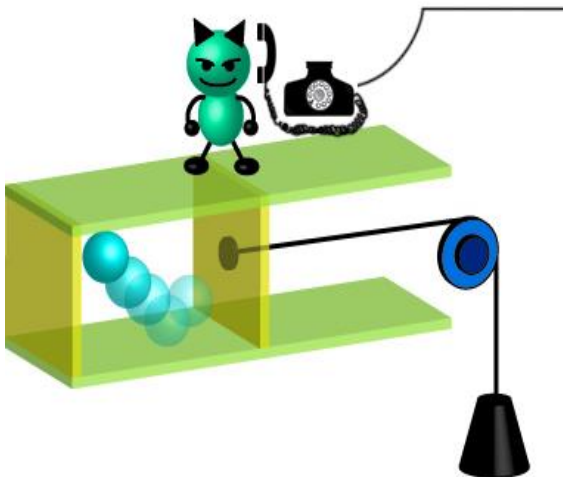
- کسب اطلاعات دقیق میکروسکوپی: عدم تغییر آنتروپی
- تحول به سمت افزایش آنتروپی: افزایش آنتروپی

کجا آنتروپی کاهش می یابد؟!

حلقه مفقوده

◉ یک مرحله جا مانده:

- کسب اطلاعات دقیق میکروسکوپی: عدم تغییر آنتروپی
- انجام فعلی خاص توسط شیطانک
- تحول به سمت افزایش آنتروپی: افزایش آنتروپی



انجام فعلی خاص توسط شیطانک

◉ شیطانک با استفاده از اطلاعات میکروسکوپی بدست آورده، آنتروپی دستگاه را بوسیلهٔ غیر مجاز کردن یکسری از حالات میکروسکوپی کاهش می‌دهد.

◉ مانع از تحول درون آنسامبلی دستگاه به سمت یکسری از حالات میکروسکوپی دیگر می‌گردد و فی-الواقع آنتروپی دستگاه را با کم کردن حالات قابل دسترس، کاهش می‌دهد (بدون آن‌که حالت ماکروسکوپی تغییر کند).

انجام فعلی خاص توسط شیطانک

◉ هر دستگاه اندازه گیری فیزیکی که اطلاعات $\ln M$ بدهد بایستی M حالت داشته باشد.

◉ پس از اندازه گیری:

$$\ln M \rightarrow \ln 1$$

◉ کاهش آنتروپی در دستگاه اندازه گیری:

$$\ln M$$

حد اطلاعاتی

- ◉ اگر اطلاعات ماکروسکوپی باشد:
- ◉ افزایش آنتروپی به دلیل اندازه گیری: $\ln m$
- ◉ کاهش آنتروپی مجازی بدلیل جهل قبلی: ΔS
- ◉ لازمه گرفتن کار مفید و بدست آوردن اطلاعات معتبر:

$$\ln m \leq \Delta S$$

- ◉ تخریبی که در اثر اندازه گیری روی دستگاه انجام می شود، همهٔ اندازه گیری را بی اعتبار می کند.

بررسی اطلاعاتی حلقه مفقوده

- دقت دستگاه اندازه گیری: $\frac{1}{l_m}$
 - میزان کاهش آنروپی در اثر اندازه گیری: $\ln l_m$
 - میزان کاهش حجم حالت دستگاه در فضای فاز: $\ln l_m$
- این دو با هم برابر است.

○ در اینجا میزان آنروپی مورد نیاز جهت کسب اطلاع بوسیله ابزار فیزیکی دقیقاً برابر میزان کاهش آنروپی دستگاه است. بنابراین جهت تأمین این آنروپی برای کسب اطلاع بایستی به همان میزان که آنروپی دستگاه کم شد (در مرحله میانی)، آنروپی آن زیاد شود.

آیا اصل دوم نقض می شود؟

◉ اگر کسب اطلاعات میکروسکوپی باشد؟ خیر

$$\ln m \leq \Delta S \quad \blacksquare$$

◉ اگر کسب اطلاعات میکروسکوپی باشد؟ خیر

- ظاهراً در مرحله میانی نقض می شود.
- اما افزایش آنتروپی بدلیل اندازه گیری فیزیکی مانع از کاهش آنتروپی می گردد.

نتیجه گیری

- ◉ با در نظر گرفتن نیاز شیطانک به ابزار فیزیکی جهت اندازه گیری اصل دوم نقض نمی شود.
- ◉ حدی اطلاعاتی روی تمام اندازه گیری ها در حوزه متداول فیزیک داریم.
- ◉ لازمه گرفتن اطلاعات میکروسکوپی از یک دستگاه فیزیکی برهم کنش با دستگاه سومی است.
- ◉ نمی توان عمومیت اصل دوم را به تمام حوزه ها تعمیم داد! این اصل تذکر جناب ماکسول بوده است.

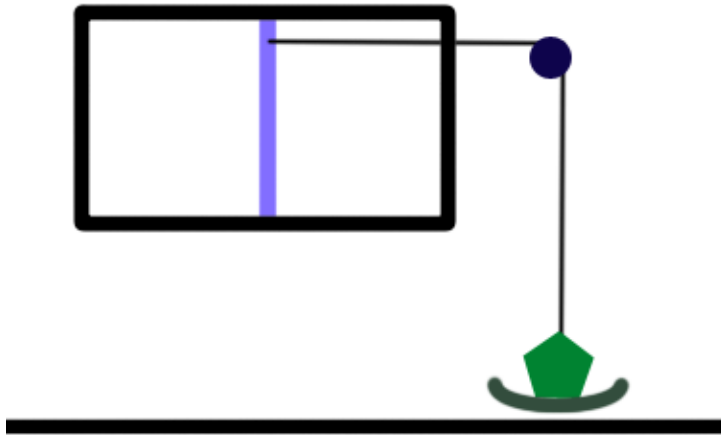
پیشنهادهای

- یک سیستم به هم پیوسته
- آزمایش روی یکی
- شکست در هم تنیدگی انرژی آزاد می کند و بالعکس برای شکستن باید انرژی مصرف کرد.
- کیهان اولیه و شکست در هم تنیدگی
- تابع موج و وابستگی ذره به آن و انرژی

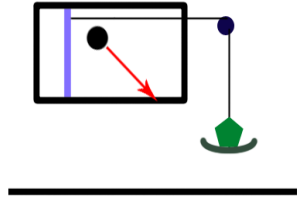
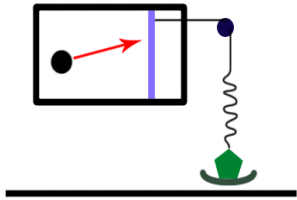
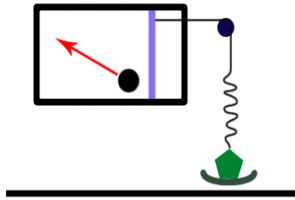
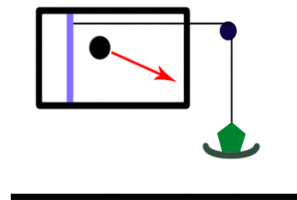
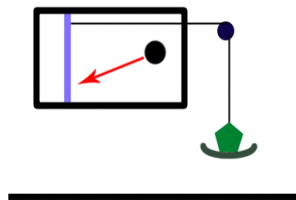
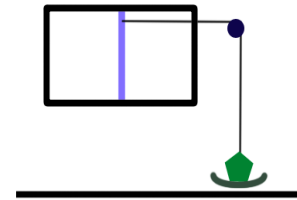
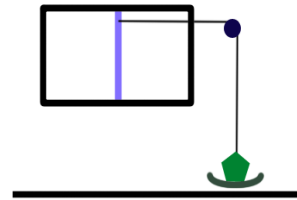
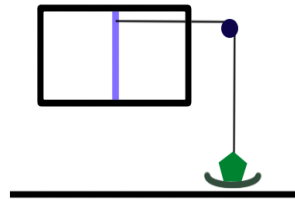
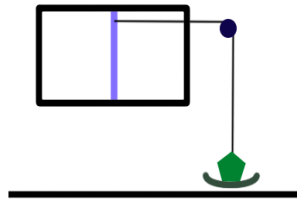
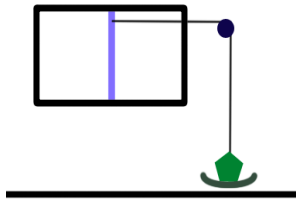
با تشکر از توجه شما

سوال نخست - بررسی

اطلاع و علم به حالات میکروسکوپی تر دستگاه، قابلیت گرفتن کار مفید از دستگاه را دارد و بالعکس؛ اگر کاری گرفتیم، اطلاعاتی نیز به ما داده شده است.



سوال نخست - بررسی



1

1

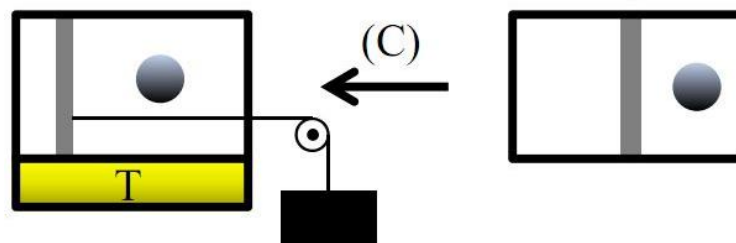
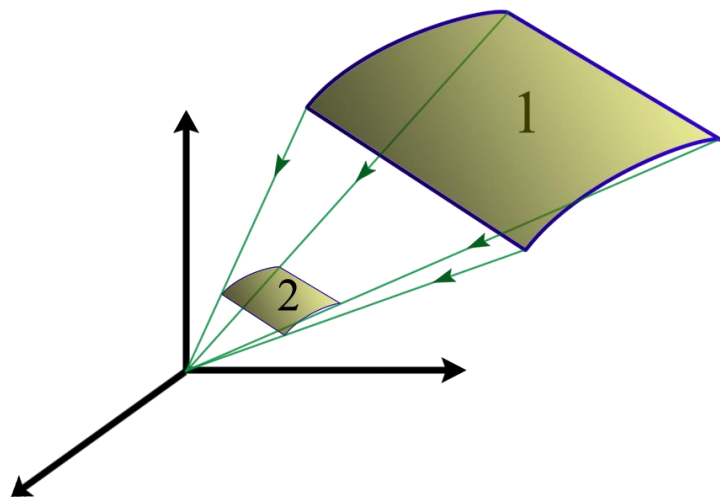
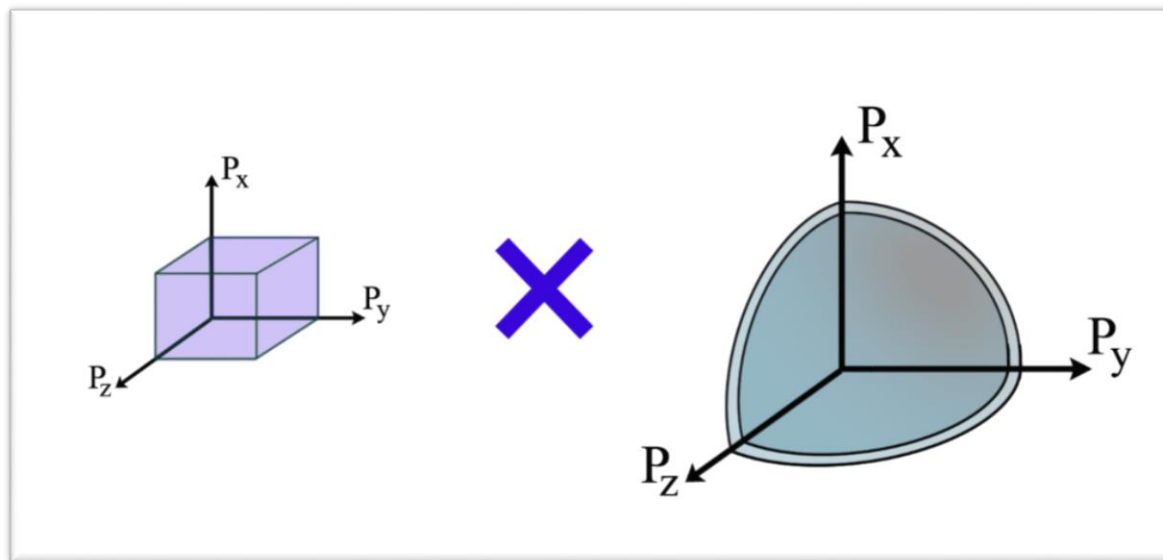
0

0

1

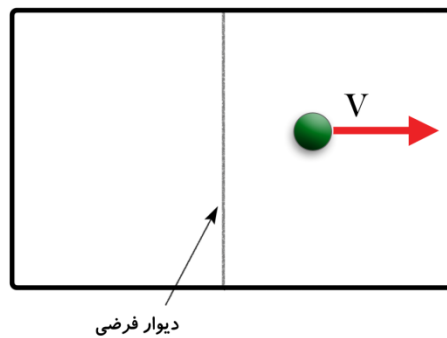
سوال نخست - بررسی

○ فضای فاز موتور تک ذره ای



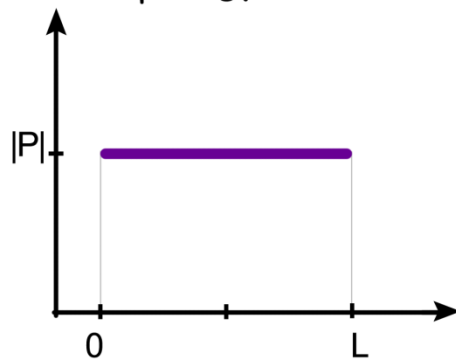
سوال نخست - پاسخ

الف



ب

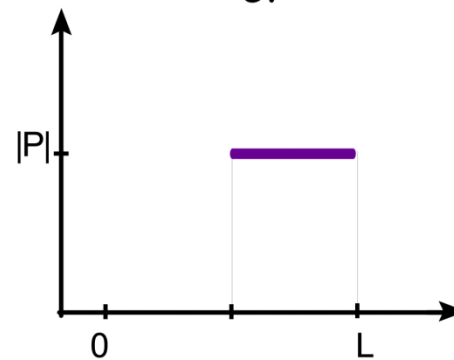
آنتروپی قدیم



اطلاع از حالت دستگاه

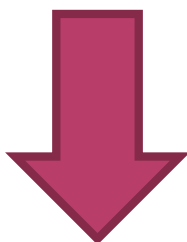


آنتروپی جدید



سوال نخست - پاسخ

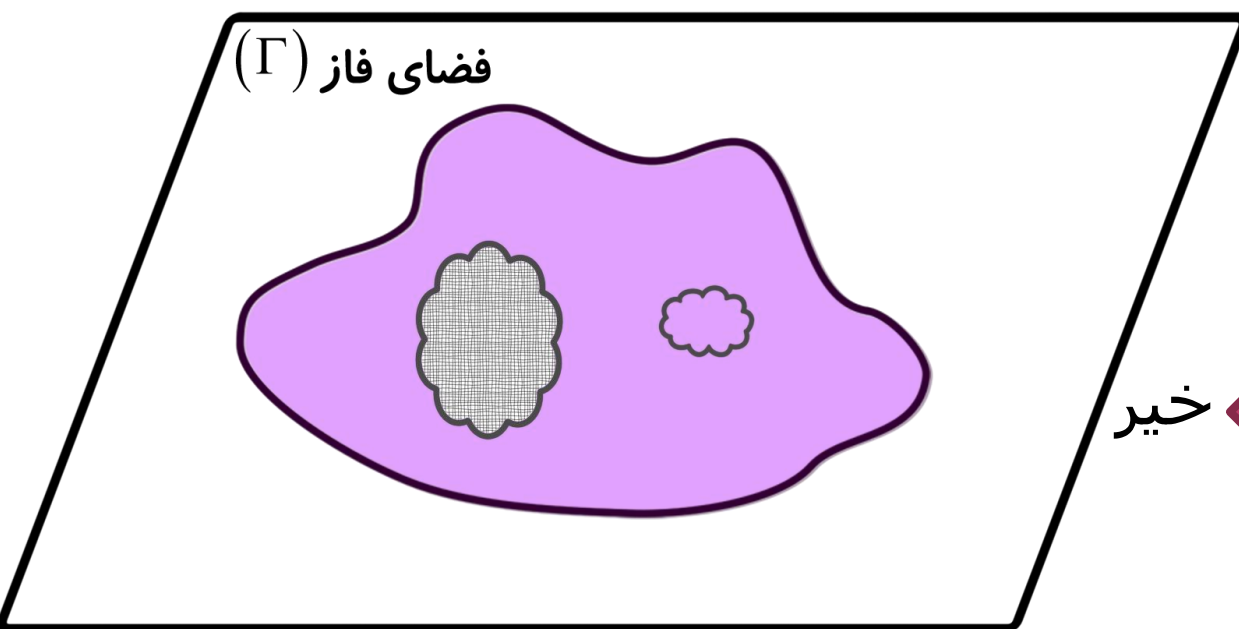
◉ وقتی که موجود ذي شعور از حالت دستگاه خبردار شد، حالت ماکروسکوپی عوض می‌شود و فضاي فاز مربوط به این حالت ماکروسکوپی کوچک می‌شود و به عبارت دیگر آنتروپی دستگاه، کم می‌شود.



◉ آیا آگاهی شیطانی از شرایط میکروسکوپی تر دستگاه، باعث تقلیل عینی آنتروپی به مفهوم ماکروسکوپی آن می‌شود؟

سوال دوم - بررسی

بلی ← مشکل پابرجاست

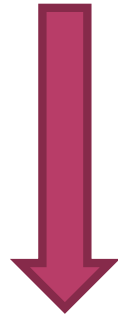


○ پاسخ

خیر

سوال دوم - پاسخ

در فرایند کشف، کاهش آنتروپی در عالم واقع و برای دستگاه خارجی رخ نمی دهد بلکه این کشف صرفا افزایش دانش ناظر یا همان شیطانک است؛ کاهش جهل وی.



آیا خودِ آگاهی پیدا کردن از کمیات ماکروسکوپی دستگاه، نیاز به صرف آنتروپی دارد و آیا در این باره، محدودیتی وجود دارد؟

سوال سوم - بررسی

- آیا تغییر اطلاعاتی شیطانك و یا استفاده از دستگاه اندازه‌گیری، نیاز به صرف کار و انرژی دارد و خودش باعث تغییر، در آنتروپی کل جهان می‌شود؟
- در این نکته، که فهمیدن، به هر روشی (فیزیکی)، باعث افزایش آنتروپی دستگاه می‌شود، بحثی نیست. سؤال قبل را می‌توان این گونه، دقیق‌تر مطرح کرد:
- «آیا افزایش آنتروپی کل، که از اتصال دو دستگاه به هم ناشی شد، کاهش آنتروپی ناشی از علم به حالت دستگاه اصلی را جبران خواهد کرد یا نه؟ آیا میزان کاری که برای کاهش آنتروپی دستگاه اندازه‌گیری، از دستگاه اصلی گرفته می‌شود (جهت اندازه‌گیری) از حداکثر کاری که در اثر اطلاع از حالت دستگاه اول، می‌توان از آن گرفت، بیشتر است یا کمتر؟! - یعنی از قوانین فیزیکی پیروی کند.

اندازه‌گیری
 $\ln m$ —————> صفر

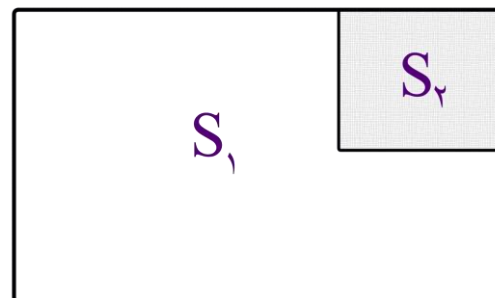
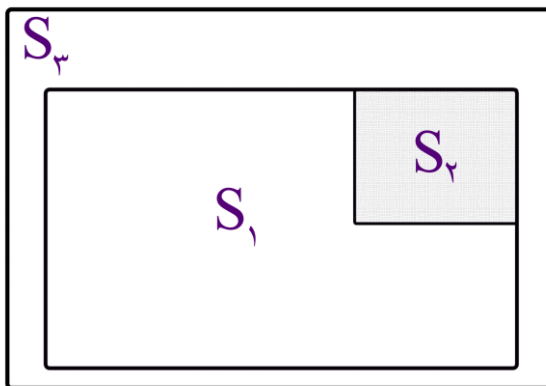
سوال سوم - پاسخ

کاهش آنتروپی ناشی از جهل ناظر $\Delta S_1 = S_2 - S_1$

افزایش آنتروپی مورد نیاز به دلیل اندازه‌گیری $\Delta S_r = S_r - S_1$ $\Delta S_r = \ln m$

بیش از اطلاعات قبلی اطلاعاتی نداریم و حتی اطلاعات کم شده است.

فرض $\Delta S_r > \Delta S_1 \Rightarrow S_r > S_1$

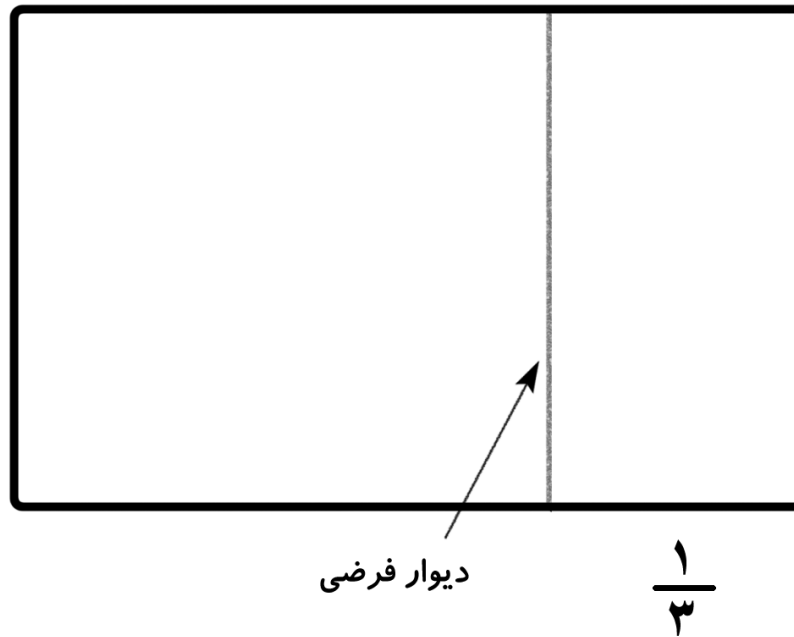


$\Delta S_r > \Delta S_1$

سوال سوم - پاسخ

شرط بیرون کشیدن کار مفید

$$\Delta S_r = \ln m < \Delta S_s$$



میزان کار مفید که می توان از دستگاه گرفت

$$\Delta S_1 \propto \ln 2$$

میزان انتروپی مورد نیاز جهت اندازه گیری

$$\Delta S_2 \propto \ln 3$$