

Entropia e Energia

energia que aparece e desaparece

A bola que escapou da quadra desce ladeira abaixo, cada vez mais rápido e mais difícil de alcançar. Ainda bem que quando a ladeira acaba, lá na várzea, a bola acaba parando de rolar..Dizemos, na linguagem da física, que na ladeira a força da gravidade "puxa" a bola para baixo (para mais perto do centro da Terra), aumentando cada vez mais a sua velocidade. Ou então que a energia potencial (guardada, escondida) da gravidade virou energia cinética (de movimento). Falamos que a energia se transformou, que mudou de "cara", mas estava lá antes da bola rolar, apenas não "dava para ver".

Dizemos também, seguindo uma idéia muito antiga (de alguns mil anos, pelo menos: "nada se perde, tudo se transforma"), que existe uma lei da natureza para a energia: **a energia nunca se perde, apenas se transforma**. A energia se conserva. Mas o que quer dizer isso? Conservar significa não mudar, ficar igual (diz-se de uma pessoa que ela é conservadora se não gosta de mudanças). Mas, afinal, a energia muda (se transforma) ou não muda (se conserva)??

Um bolo é feito de farinha, ovos e alguma gordura (manteiga, margarina ou óleo). Antes de ir ao forno, tem uma consistência mole e uma cor clara. Depois de assado, tem outra consistência e outra cor. Então o bolo "antes" (de assar) e o bolo "depois" (de assar) são completamente diferentes. Mas por outro lado, se pensarmos nos átomos que compõem o bolo, os átomos que compunham a farinha, os ovos e a manteiga, estes são os mesmos, no bolo crú ou no bolo assado. Então o bolo mudou e não mudou! Mudou para os nossos olhos que enxergam as coisas comuns. Mas para os olhos que já aprenderam a "ver" os átomos de todas as coisas, ele permaneceu o mesmo. Mas não exatamente o mesmo: são os mesmos átomos que estão ali, mas antes do forno estão organizados de uma maneira, e depois do forno de outra maneira. Por isso os nossos olhos "comuns", que não conseguem distinguir

os átomos, vêm apenas a forma diferente. Assim, houve ao mesmo tempo uma transformação e uma conservação.

Então durante a descida da rua a energia gravitacional (invisível, como os átomos) vai se transformando em cinética (no movimento que vemos). Vai se transformando, mas se conservando, pois é sempre energia, sempre na mesma quantidade. No final do morro, toda a energia que era da gravidade virou energia de movimento (assim como todos os átomos do bolo que tinham aparência "cremosa" se transformaram e aparecem como "seco"). Mas no meio do caminho, no começo, a energia é mais gravitacional (como o bolo, no começo do "assamento" é mais cremoso) e mais para o final é mais de movimento (como o bolo, quase no final do "assamento" é mais seco). A quantidade de energia, somando a gravitacional com a cinética, é sempre a mesma. Assim como, somados átomos "cremosos" e "secos" a quantidade é sempre a mesma.

energia que some e vira calor

Mas e quando acaba o morro, a bola continua rolando um pouco, mas acaba parando. E então, onde foi parar a energia? Agora parece que desapareceu! Ou novamente se transformou numa forma invisível aos nossos olhos?

Você já deve ter percebido que o movimento gera calor. Se já chegou perto de uma furadeira, já sabe que pode até queimar o dedo na broca que acabou de rodar. Mas também pode simplesmente esfregar as mãos umas nas outras, como fazemos em dias de frio, e tomar consciência de que esse movimento é que esquentas as mãos. O calor que "aparece" significa um aumento do movimento molecular - as moléculas da sua pele e do ar em torno dela tornam-se mais "agitadas". Mas de onde as moléculas tiram essa energia? Dizemos que o movimento das mãos "passou" para o movimento das moléculas da pele, em outras palavras, que a energia de movimento (visível) de vai-e-vém das mãos se transformou em energia de movimento (invisível) das moléculas da pele.

Da mesma maneira, o movimento da bola rolando, que desaparece pouco a pouco, enquanto ela rola na várzea, vai "passando" para as moléculas da terra, do mato, e da própria bola, que ficam todas um pouquinho mais "quentes". É verdade que se colocarmos a mão pra sentirmos o "calorzinho" que a terra, o mato ou a bola ganharam não vamos percebê-lo, mas isso é

porque, assim como nossos olhos não conseguem ver os átomos, nossas mãos não conseguem perceber aumentos tão pequenos de agitação molecular.

Por isso mesmo, foi difícil descobrir que era isso que acontecia com a energia que parecia desaparecer quando uma bola para de rolar - ela vira calor, energia de movimento das moléculas. Duas coisas que nossos sentidos comuns (olhos e tato) não percebem: os átomos (ou moléculas) e seus movimentos.

Depois que essas duas idéias passaram a ser aceitas, muita coisa se encaixou. Como num quebra-cabeça, podemos tentar achar onde está energia em qualquer coisa que acontece. No caso da bola que rola:

na descida: ***energia gravitacional (porque está "em cima") -> energia cinética (de movimento) e um pouquinho de calor (da bola, da terra do mato)***

na várzea: ***energia cinética - > calor (da terra, do mato, e da bola, em todo o caminho).***

(Pense em outra situação de transformação de energia. Faça uma cadeia de transformação de energias, identificando os tipos de energia que vão aparecendo)

fantasmas e filmes de trás pra frente

O balão de aniversário, murcho, esquecido em cima da mesa, repentinamente se enche de ar e fica redondinho. A balança, no parquinho vazio, em dia nublado e cinzento, começa lentamente, depois mais rápido, a se balançar.

Cenas fantasmagóricas de um filme de terror?

A nuvem de perfume no quarto abafado repentinamente some, voltando para dentro do vidro. O gás, que já queimou no bico do fogão, volta a ser o mesmo gás, e nos assusta com seu cheiro ameaçador. Cubos de gelo formam-se no copo d'água em cima da pia. Um pedaço de carvão, na

churrasqueira, começa a se acender e vira brasa. O que houve? O filme está rodando de trás para diante?

Nenhuma dessas cenas nos espanta, se invertidas as sequências. O balão, aberto, se esvazia. A balança, se ninguém empurra, pára mesmo. O perfume se espalha, e o gás, ao queimar, se transforma em inodoro, o gelo derrete no copo de água e o carvão em brasa esfria e se apaga.

Há então um ordenamento "certo" no tempo, para as coisas acontecerem. Sabemos o que vem antes e o que vem depois.

(Você com certeza consegue pensar em várias outras situações desse tipo!)

explicação da física - problemas de ordem e desordem

Será que a "Física" tem algo a dizer sobre tudo isso?

Em alguns casos poderíamos pensar que vale a seguinte explicação: a energia potencial tende sempre a diminuir. Esse é o caso da balança no parque, e também da bola que rola ladeira abaixo - em ambos os casos, a energia potencial gravitacional vai sumindo com o tempo. Mas e o perfume se espalhando no quarto? E o balão que se esvazia? Nesses casos, não há mudança de energia potencial. Então essa explicação não vale para estes casos.

Uma outra idéia pode explicar ao mesmo tempo várias situações. Essa idéia envolve os conceitos de ordem e desordem.

ordem é diferenca, desordem é tudo igual

Quando você sopra a bexiga de aniversário para enchê-la, gasta um pouco de energia para "apertar" todo aquele ar lá dentro. Mas se você soltar a bexiga, depois de enchê-la, ela sempre se esvazia. O ar sai de lá de dentro "sozinho" (se quiser, veja a nota sobre energia).

Nota sobre energia: Podemos fazer nossa análise de energia: a energia que você gasta vai para afastar as moléculas da borracha, que ganham uma energia que fica guardada (potencial) com elas, enquanto você segura a boca do balão. Mas quando você solta, essa energia é transferida para as moléculas de ar, que ganham movimento e saem para fora do balão. Então a cadeia de conservação/transformação de energia é: energia (química - do alimento que você comeu) guardada no seu corpo -> energia (potencial elástica) do balão -> energia (cinética) de movimento do ar para fora da bexiga -> calor do ar (o movimento do ar para fora da bexiga acaba "agitando" as moléculas do ar da sala e vira calor). Mas por que essa sequência tem que acontecer nessa ordem?

Existe uma idéia para explicar porque isso sempre acontece. É a seguinte. Enquanto o balão está cheio, existem dois "tipos" de ar na mesma sala: o ar comprimido de dentro do balão e o ar normal da sala. Dizemos que há mais ordem na sala, nessa situação, como numa gaveta em que as meias vermelhas e amarelas estão separadas. Quando o balão esvazia, o ar fica todo misturado, fica tudo por igual, há moléculas um pouco mais apertadas ou um pouco mais folgadas por toda parte (como na gaveta em que as meias vermelhas e amarelas se misturaram).

Então dizemos que há uma outra lei da natureza:

a tendência da natureza é sempre para a desordem, para a mistura, para deixar tudo "por igual".

Vamos analisar alguns exemplos, para ver se ela faz sentido.

vidro de perfume aberto. Esse caso é parecido com o do balão. Enquanto o vidro de perfume está fechado, temos dois tipos de ar no quarto: o ar misturado com moléculas de perfume, dentro do vidro (em cima da parte líquida), e o ar sem perfume no quarto todo. Há uma ordem, como no caderno de alguns alunos, em que física e geografia estão em partes separadas. Mas assim que permitimos que as moléculas de perfume escapem de dentro do vidro (abrindo a tampa), elas vão se espalhar pelo quarto todo, deixando todo o ar "por igual", misturado com moléculas de perfume - como

o caderno de outros alunos, em que todas as matérias ficam misturadas.

brasa e carvão. Nesse caso, enquanto o carvão está em brasa, podemos classificar as moléculas do quintal em dois tipos: moléculas muito agitadas (do carvão quente e do ar pertinho dele) e moléculas um pouco agitadas (do ar e todo o resto no quintal). Há uma ordem, porque as moléculas muito agitadas (no carvão em brasa e perto) estão separadas das moléculas pouco agitadas (do ar normal). À medida que o carvão esfria, e que vai ficando na mesma temperatura do ar, vai ficando tudo "por igual", dizemos tudo desordenado, porque as moléculas vão ficando todas com a mesma agitação.

balanço no parque. Enquanto a balança está indo p'ra lá e p'ra cá há dois tipos de molécula. As moléculas do balanço, que "marcham" em ordem para lá e para cá, e as moléculas do resto (do ar, da grama, da terra), que andam de qualquer jeito, cada uma para um lado. Quando o balanço para de balançar, tudo fica "igual", as moléculas de todas as coisas ficaram do mesmo jeito, andando para qualquer lado.

Podemos também fazer esquemas de ordem - desordem.

ar comprimido dentro do balão e ar normal na sala (+ORDEM) -> ar normal por toda parte, dentro e fora do balão (+DESORDEM)

ar perfumado no vidro e ar sem perfume do quarto (+ORDEM) -> ar um pouco perfumado por toda parte, dentro e fora do vidro (+DESORDEM)

moléculas muito agitadas no carvão em brasa e moléculas pouco agitadas no ar (+ORDEM) -> moléculas um pouco agitadas por toda parte, no carvão e em todo lugar (+DESORDEM)

moléculas em marcha ordenada no balanço e moléculas andando pra todo lado no ar (+ORDEM) -> moléculas andando pra todo lado no ar e no balanço (+DESORDEM)

dois tipos de ordem: ordem de lugar e ordem de movimento

Estamos falando de uma lei da natureza que diz que toda ordem acaba virando desordem.

Vamos explicar um pouco mais o que entendemos por ordem. Nos exemplos que discutimos, dá para ver que há dois tipos dessa coisa que estamos

chamando de ordem.

No caso do balão, é ordem de lugar: moléculas apertadas DENTRO e moléculas folgadas FORA (dentro e fora indica lugar). A ordem é uma distinção entre o que está dentro e o que está fora: são as moléculas do mesmo tipo, mas umas estão apertadas e outras folgadas.

No caso do perfume, também é ordem de lugar: moléculas de ar e perfume DENTRO e moléculas só de ar FORA. A ordem significa que ar perfumado (moléculas de ar e moléculas de perfume) e ar sem perfume (só moléculas de ar) estão em lugares diferentes.

No caso do carvão em brasa, a ordem também é de lugar, mas a diferença entre as moléculas que estão nos dois lugares é de movimento. As moléculas estão ordenadas por lugar de movimento: moléculas com muito MOVIMENTO estão DENTRO do carvão em brasa e moléculas com pouco MOVIMENTO estão NO ar do quintal.

No caso do balanço, há ordem de lugar E de movimento. As moléculas do balanço (ordem de LUGAR) andam todas juntas para o mesmo lado (ordem do MOVIMENTO), enquanto as moléculas do ar andam desordenadamente para todos os lados.

desordem batizada de entropia

Os físicos que pensaram sobre todas essas coisas que estamos discutindo concluíram que enquanto a energia se transforma, se conservando, a desordem vai sempre aumentando. Concluíram que havia duas leis da natureza:

a energia se conserva (no Universo)

a desordem sempre aumenta

Mas, na verdade, não falavam no começo em desordem. O nome que deram à desordem foi ENTROPIA. Isso para lembrar que a desordem aparece enquanto a energia se transforma, e também porque a palavra ENTROPIA é parecida com ENERGIA. Embora diferentes, as duas andam sempre juntas.

Vamos usar o novo termo. Um pedaço de gelo tem baixa entropia (pouca desordem), porque as moléculas estão uma ao lado da outra, "em formação", e se agitam bem pouco. O vapor d'água tem bem mais entropia, porque as moléculas se agitam muito e se espalham para todo o lado, sem lugar certo para ficar. Um quarto de menino geralmente tem muito mais entropia ((bagunça) do que um quarto de menina (todo arrumadinho). Uma fila de alunos geralmente tem muito mais entropia do que uma fila de soldados em marcha.

transições de fase e entropia

A água congela na caixinha de gelo do congelador e o gelo derrete em cima da mesa. Essa é a "ordem natural das coisas" . No congelador: água antes e gelo depois. Na mesa: gelo antes e água depois. Então o que vem antes e o que vem depois depende do ambiente?

Mas como é que gelo pode significar desordem (ou mais entropia) no primeiro caso e ordem (menos entropia) no segundo caso?

A diferença mais importante entre os ambientes do congelador e da cozinha é certamente a temperatura (a água sempre congela em ambientes frios, e derrete em ambientes quentes). Vamos retomar a idéia de que desordem corresponde à situação de "tudo igual", e ordem à situação em que há lugares diferentes com moléculas diferentes.

Primeiro analisamos o gelo que derrete em cima da mesa. Neste caso, as moléculas do ar têm mais energia, estão mais agitadas, e as moléculas do gelo têm menos energia, menos movimentos, além de estarem mais organizadas, "em formação", uma ao lado da outra. No começo, antes do gelo derreter, temos uma situação mais ordenada, com as moléculas "frias" separadas das moléculas "quentes". Mais organização, menos entropia. Ao final de algum tempo, quando o gelo derrete, ambos, água e ar, tem moléculas de mesma energia, a mesma agitação. Ficou "tudo igual", a desordem aumentou. A entropia aumentou.

Já no caso do congelador, temos que analisar com mais cuidado. Antes de colocarmos a caixinha de água para congelar, a temperatura é uniforme e as moléculas de ar têm todas a mesma "agitação", ou mesma energia de movimento. Quando colocamos a caixinha com água para congelar, criamos uma diferença: as moléculas de água na caixinha estão muito mais agitadas

do que as moléculas do ar em volta (no congelador). A tendência da natureza à desordem, ou a "igualar tudo", vai fazer com que a energia das moléculas de água vá se transferindo para as moléculas de ar, até que fiquem todas, moléculas de ar e moléculas de água, com a mesma energia. Acontece que quando as moléculas de água ficam com a mesma energia das moléculas de ar do congelador, elas ficam tão próximas umas das outras, que a água solidifica. A desordem aumentou porque, inicialmente, tínhamos uma caixinha com moléculas "quentes" separadas do ar com moléculas "frias", e no final, temos tudo, ar e água, com a mesma energia de agitação. A entropia do conjunto, água e ar, não é muito grande, o movimento molecular é pequeno - mas é maior do que na situação inicial.

Mas aqui aparece uma dúvida! Não havíamos dito antes que no gelo há MENOS entropia (portanto menos desordem), do que na água? Como então podemos dizer que quando a água congela no congelador, há MAIS desordem? Onde é que está a confusão?

Nesse caso, para compreendermos melhor, precisamos analisar separadamente a mudança que ocorreu em cada parte: a água na caixinha e o ar do congelador. Quando a água esfria e congela, as moléculas que estavam mais agitadas, tornam-se menos agitadas, e portanto, se fixarmos nosso olhar na água, vemos (com nossos olhos de enxergar átomos) que ela ficou mais ordenada, com MENOS entropia. Por outro lado, se olharmos para as moléculas de ar, vamos ver que elas ganharam energia das moléculas da água, então elas se tornaram mais agitadas. Podemos dizer que o ar do congelador ficou mais desordenado, ganhou MAIS entropia. Se um perdeu, e o outro ganhou, qual é o resultado da troca? É MAIS entropia, porque ficou tudo "por igual" em termos de energia, a agitação das moléculas de água e de ar ficou igual. Isso também quer dizer que o ar do congelador ganhou MAIS desordem do que a água da caixinha PERDEU. Quando fica tudo "por igual" em termos de energia das moléculas, a desordem, ou entropia, aumentou.

Bem, "tudo igual" é modo de dizer. Na verdade, ficou "mais" igual do que antes- ficaria tudo ainda mais igual, se a água se misturasse com o ar. Isso significaria um aumento maior ainda da desordem ou da entropia - que acontece, sim, mas demora muito mais tempo.

Então, nas transições de fases também observamos sempre a tendência a "igualar", ao aumento da entropia e da desordem. Mas quanto de desordem

fica no final do processo depende da temperatura. Quanto mais alta a temperatura, mais desordem aparece.

o homem e a entropia da Terra

As forças da natureza gostam de aumentar a entropia. O vento, a chuva e o mato se encarregam de encobrir de terra e mato as construções abandonadas. Com o passar dos anos vão-se as telhas, os blocos ou tijolos, e ao final de algumas décadas fica difícil perceber que havia por ali alguma construção, algo feito pelo homem. Vai ficando tudo por igual. Da mesma forma, as montanhas e os morros, levantados pelas próprias forças da natureza, por movimentos das entranhas da Terra, vão sendo levados pelas águas e pelo vento. É verdade que isso leva muito mais tempo. Mas sabem os geólogos que as montanhas mais altas são mais novas, porque as velhas já foram castigadas, arredondadas, arrasadas, pela força das intempéries. É a natureza aumentando a entropia.

E a ação do homem? no mundo de hoje? Será que altera a entropia do Planeta?