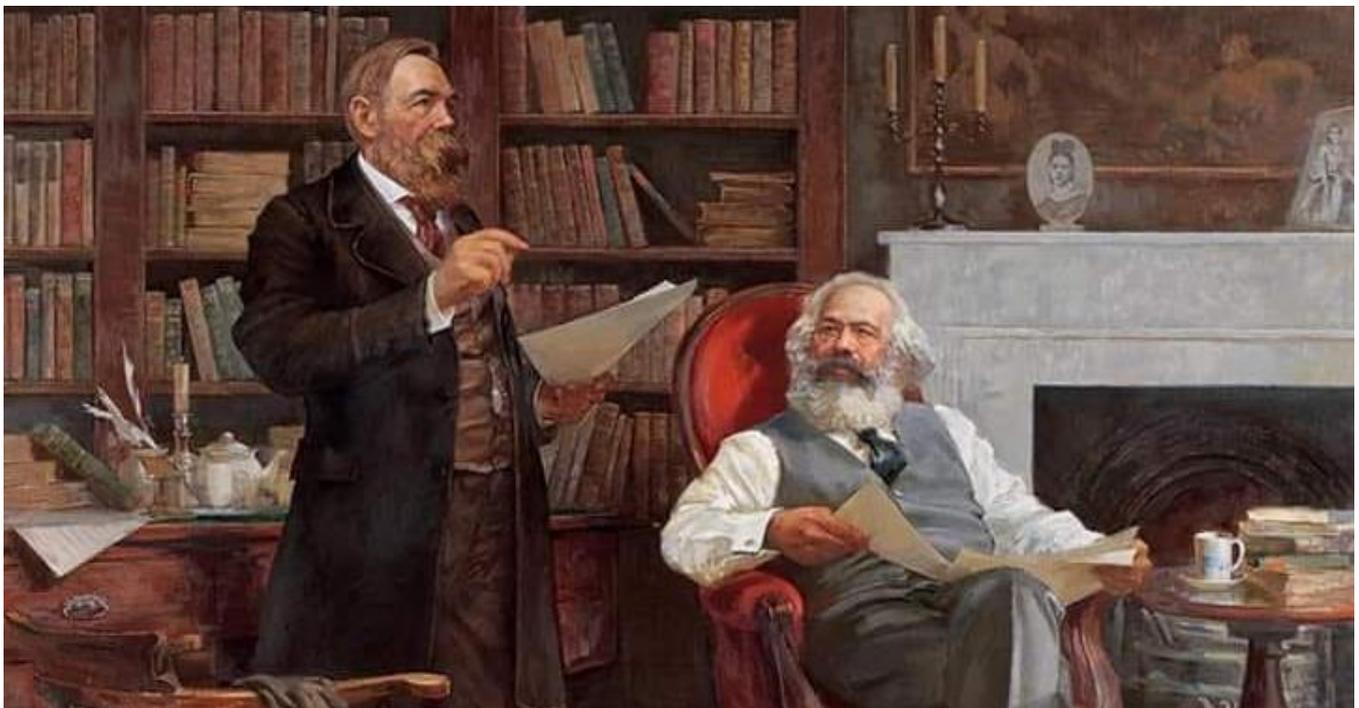


# FORMAS FUNDAMENTAIS DO MOVIMENTO

**Friedrich Engels**

---

Capítulo do livro *A Dialética da Natureza* Primeira Edição: em Russo e Alemão na URSS em 1925. Provavelmente escrito entre 1872 e 1882



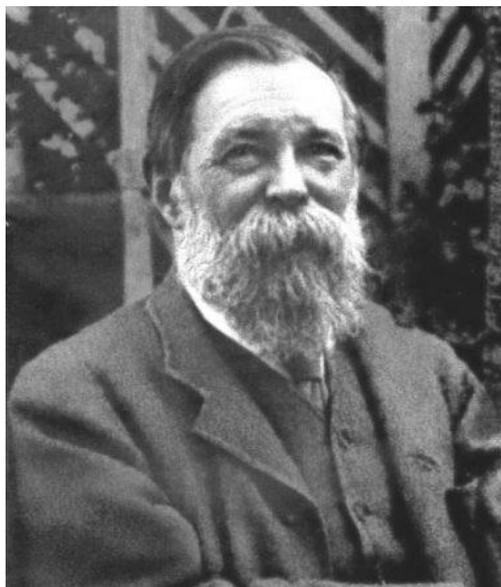
O movimento, em seu sentido mais geral, concebido como forma de existência, como atributo inerente à matéria, compreende todas as transformações e processos que se produzem no Universo, desde as simples mudanças de lugar até a elaboração do pensamento. A investigação da natureza do movimento tinha, por certo, que partir das formas mais elementares e simples desse movimento, sendo necessário nos esforçarmos por compreendê-las primeiro, para depois conseguirmos algo no que se refere à explicação de suas formas mais elevadas e complexas. Assim é que vemos, no desenvolvimento histórico das ciências naturais, tomar forma, primeiramente, a teoria mais simples da mudança de lugar, a mecânica não só dos

corpos celestes, como a das massas terrestres. Segue-se depois a teoria do movimento molecular — a física; e finalmente, quase ao seu lado e por vezes adiantando-se a ela, a ciência do movimento dos átomos — a química.

Somente após esses diferentes ramos do estudo das formas de movimento, que imperam na natureza inanimada, haverem alcançado um alto grau de desenvolvimento, foi possível abordar com êxito a explicação das formas de movimento que interferem nos processos vitais. As noções a ele referentes progrediram, acompanhando sempre os avanços da mecânica, da física e da química. De maneira que, enquanto a mecânica estava, havia já algum tempo, em condições de explicar suficientemente, por exemplo, o movimento transmitido ao corpo animal pelas alavancas ósseas (ao serem movidas pelas contrações dos músculos, aplicando-lhes as respectivas leis vigentes na natureza inanimada), estava ainda em seu início a explicação físico-química dos outros fenômenos vitais<sup>(1)</sup>. Assim é que, se quisermos investigar agora a natureza do movimento, somos forçados a deixar de lado os movimentos orgânicos. Limitar-nos-emos, embora forçados, de acordo com o atual estado da ciência — às formas de movimento da natureza inanimada.

Todo movimento está ligado a alguma mudança de lugar: mudança de lugar de corpos celestes, de massas terrestres, de moléculas, de átomos ou de partículas de éter. Quanto mais elevada a forma de movimento, tanto menor a mudança de lugar. Essa mudança de lugar não é, de forma alguma, a totalidade do respectivo movimento, mas é inseparável do mesmo. É isso, portanto, o que se deve, em primeiro lugar, investigar.

Toda a Natureza que nos é acessível, constitui um sistema, um conjunto de corpos. E é necessário que admitamos como **corpos** todas as existências materiais, desde a estrela ao átomo e até mesmo a partícula de éter, desde que admitamos sua existência. Mas, já que todos esses corpos constituem um conjunto, não se pode deixar de admitir também o fato de que eles atuem uns sobre os outros; e essa ação de uns sobre os outros é justamente o que constitui o movimento. Fica assim estabelecido que não é possível conceber a matéria sem movimento.<sup>(2)</sup> E, já que a matéria se nos apresenta como uma coisa de fato, tão incriável como indestrutível, daí se deduz que também o movimento é tão indestrutível como incriável. Essa conclusão



tornou-se inelutável, desde que o universo foi reconhecido como um sistema, como um conjunto correlacionado de corpos. E como esse reconhecimento foi uma aquisição da filosofia muito antes de haver adquirido valor efetivo no referente às ciências naturais, compreende-se por que a filosofia, 200 anos das ciências naturais, chegasse à conclusão de que o movimento era não só incríavel como também indestrutível. Até mesmo a forma sob a qual a apresentou, ainda hoje é superior à das ciências naturais.

O postulado de Descartes segundo o qual a quantidade de movimento existente no Universo é sempre a mesma, pode ser considerado errado apenas quando aplica uma expressão finita a uma grandeza infinita. Por outro lado, ainda hoje são usadas, em ciências naturais, duas maneiras diferentes de expressar a mesma lei : a de Helmholtz (a da conservação da **força**); e a mais nova e precisa, a da conservação da **energia**, uma das quais, como veremos, é justamente o contrário da outra, sendo que ambas traduzem apenas um aspecto da relação.

Quando dois corpos atuam um sobre o outro, de maneira que a consequência seja a mudança de lugar de um ou de ambos, essa troca respectiva de lugar só pode consistir em uma aproximação ou um afastamento. Ou ambos se atraem, ou ambos se repelem. Ou ainda, como se expressa a mecânica, as forças que atuam entre eles são centrais, isto é, agem na direção da linha de união de seus respectivos centros. Que o fato se passa dessa maneira, que acontece sempre assim e sem exceção, no Universo, por mais complicados que pareçam certos movimentos, é hoje considerado como evidente. Para nós seria um contra-senso admitir que dois corpos atuando um sobre o outro (e a cuja interação não se opõe nenhum obstáculo ou na qual não intervenha um terceiro corpo), pudessem exercer sua ação de outro modo a não ser pelo caminho mais curto e direto, ou seja, na direção das retas que unem seus centros. Helmholtz [*Erhaltung der Kraft (Conservação da Força)*, Berlim 1847, cap. I e II], além de tudo mais, apresentou a prova matemática de que a ação central e a invariabilidade da quantidade de movimento se condicionam reciprocamente; e que a admissão de outras ações, que não as

centrais, conduziria a resultados por meio dos quais se poderia criar ou destruir o movimento. A forma fundamental de todo movimento é, portanto, a aproximação e o afastamento, a contenção e a expansão, em suma: a velha oposição polar denominada *atração e repulsão*.

É necessário anotar expressamente: atração e repulsão não devem ser concebidas, neste caso, como pretensas *forças*, mas sim como *formas elementares do movimento*. Na verdade, já Kant havia concebido a matéria como uma unidade de atração e repulsão. O que, de fato, se sabe com respeito às *forças* será visto mais adiante.

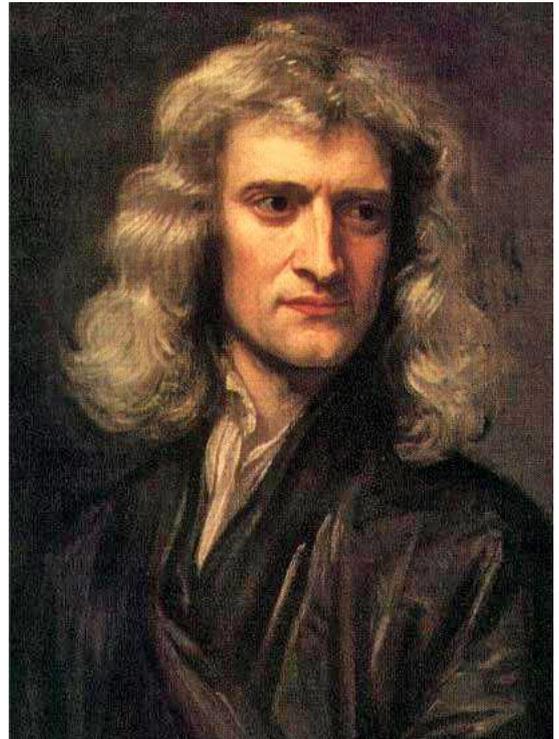
Todo movimento consiste num jogo de intercâmbio entre atração e repulsão. Mas o movimento só é possível quando cada atração, isoladamente considerada, é compensada por uma repulsão correlativa, em outro ponto. Não fora assim, e um lado predominaria sobre o outro, no decorrer do tempo; e, dessa forma, terminaria o movimento. Por conseguinte, todas as atrações e todas as repulsões devem compensar-se no Universo. A lei da increabilidade e da indestrutibilidade do movimento é assim expressa no sentido de que todo o movimento de atração, no Universo, tem que ser contrabalançado por outro, equivalente, de repulsão e vice-versa; ou, como foi expresso pela filosofia antiga (muito antes que as ciências naturais), a qual estabeleceu a lei da conservação da energia nos seguintes termos: a soma de todas as atrações, no Universo, é igual à soma de todas as repulsões.

Entretanto, a esse respeito poderia parecer que subsistiam duas possibilidades: que todo o movimento desaparecesse, um dia, fosse porque se equilibrariam, finalmente, a repulsão e a tração; fosse pelo fato de que toda a atração se transferisse definitivamente para uma parte da matéria e toda a repulsão para outra parte. Diante da concepção dialética, porém, essas possibilidades são excluídas de antemão. Uma vez que a dialética estabeleceu, de acordo com os resultados conseguidos até agora pela investigação da Natureza, que todas as oposições polares são condicionadas, necessariamente, pelo jogo alternante de um sobre o outro de ambos os polos opostos; que a separação e oposição de ambos os polos, só existe dentro de sua correspondência e união (e, inversamente, sua união é condicionada por sua separação, sua correspondência, por sua oposição) já não se pode falar de um equilíbrio final entre a repulsão e a atração; da separação definitiva de uma forma de movimento em uma metade da matéria e, da outra forma, na outra metade, ou seja, não se pode falar, nem da penetração recíproca, nem

da separação absoluta de ambos os polos. Isso seria o mesmo que se pretender, no primeiro caso, que o polo norte e o polo sul de um ímã se igualassem e interpenetrassem; e, no segundo caso, a divisão de um ímã em duas partes, deixaria uma (a metade austral), sem polo norte e a outra (a metade boreal), sem polo sul; quando a verdade é que a sua divisão determina, imediatamente, a formação de novos polos opostos em cada uma das metades. Mas, mesmo quando o inadmissível de semelhantes suposições se torna patente em face da própria natureza dialética das oposições polares, o predomínio do modo de pensar metafísico entre os naturalistas faz com que desempenhe certo papel, na teoria física, a segunda hipótese, quando mais não seja. Esse é um assunto que será tratado em seu devido lugar.

Como se apresenta o movimento na interação entre atração e repulsão? O melhor será investigá-lo através das diferentes formas do próprio movimento. Da observação das mesmas, surgirá então a lei de conjunto.

Consideremos o movimento de um planeta em torno de um corpo central. Astronomia escolar corrente explica, de acordo com a teoria de Newton, ser a elipse descrita em virtude da ação conjunta de duas forças: a atração do corpo central, contrária a uma outra força tangencial que impulsiona o planeta normalmente à direção daquela atração. Supõe assim, além de uma forma de movimento, de procedência central, outra pretensa **força** que atua em direção perpendicular à linha de união dos pontos centrais dos dois corpos. Isso entra em contradição com a lei fundamental, antes citada, segundo a qual, em nosso Universo, todo movimento só pode ser realizado na direção dos pontos



*Isaac Newton*

centrais dos corpos que atuam uns sobre os outros ou, como se diz em geral, só pode ser causada por forças centrais. Dessa maneira, é introduzido na teoria um fator de movimento que, conforme já vimos, conduz necessariamente à criação ou destruição de movimento e, portanto, pressupõe um Criador. A questão era, pois, reduzir essa misteriosa força tangencial a uma forma

de movimento que operasse sob uma forma central; e foi isso que se verificou com a teoria cosmogônica de Kant—Laplace. Segundo essa concepção, todo o sistema solar teve sua origem em uma massa gasosa muito tênue, possuindo um movimento giratório como resultado da contração gradual da mesma. Dado que a rotação dessa esfera gasosa, no Equador, tinha que ser mais rápida, desprenderam-se dessa massa anéis gasosos que, em seguida, se fragmentaram e constituíram planetas, planetóides, etc., que giram em torno do corpo central na mesma direção da rotação primitiva. Essa rotação é explicada correntemente como sendo o resultado de um movimento peculiar às partículas gasosas, que se produz nas mais variadas direções, mas nas quais, finalmente, predomina alguma em determinada direção, originando-se assim o movimento giratório que, por necessidade, se acelera progressivamente, em virtude da contração. Entretanto, seja qual for a hipótese que se admita a respeito do movimento giratório, fica eliminada essa força tangencial, reduzida a uma forma especial do movimento, que procede em direção central.

Se o elemento diretamente central do movimento planetário está representado pela gravidade, pela atração entre ele e o corpo central, o outro fator — o tangencial — se nos apresenta como um resto, sob a forma transmitida ou modificada, da primeira repulsão entre as diferentes partículas da esfera gasosa. O processo que deu origem à existência de um sistema solar apresenta-se assim como um jogo alternativo entre a atração e a repulsão, no qual a atração adquirisse um predomínio gradual, por isso que a repulsão é irradiada, sob a forma de calor, no espaço cósmico, sendo assim progressivamente perdida pelo sistema solar.

Vê-se, à primeira vista, que a forma de movimento aqui concebida como repulsão é a mesma que a física moderna denomina de energia. Em virtude da contração do sistema e da conseqüente diferenciação dos diversos corpos de que hoje consta, o sistema teria perdido energia. Essa perda, segundo o conhecido cálculo de Helmholtz, deve já ter alcançado uns <sup>453</sup>/<sub>454</sub> de toda a quantidade de movimento que existia originariamente nele, sob a forma de repulsão.<sup>(3)</sup>

Consideremos agora uma massa corpórea de nossa própria Terra. Essa massa está ligada à Terra pela gravidade, assim como a Terra está, por sua vez, ligada ao Sol. Mas, ao contrário da Terra, essa massa é incapaz de um movimento giratório próprio. Só se pode mover por meio de um impulso recebido de fora e, mesmo assim, quando termina o impulso, seu movimento não

demora a extinguir-se, seja em virtude da gravidade apenas, seja em consequência de sua combinação com as resistências do meio em que se move. Esta resistência é também, em última análise, um simples efeito da gravidade, sem a qual a Terra não teria, em sua superfície, nenhum meio resistente por não possuir atmosfera. Por conseguinte, no movimento puramente mecânico sobre a terra, que enfrentar uma



situação em que a gravidade — a atração — predomina decididamente e em que a produção de movimento se exerce em duas fases: primeiro, atuar contra a gravidade; em seguida, deixar atuar a gravidade; em resumo, levantar e depois deixar cair.

Temos assim, de novo, a interação da atração, por um lado; e, pelo outro, a que se produz em sentido contrário, ou seja, uma forma de movimento de repulsão. Na Natureza, porém, não existe essa forma de movimento de repulsão que seja produzido no campo da mecânica terrestre *pura* (que opere com massas em estados *dados* de agregação e coesão, para ela invariáveis). As condições físicas e químicas sob as quais uma rocha se desprende do cume de uma montanha, ou as que tornam possível a existência de uma catarata, estão fora do domínio da mecânica pura. O movimento de repulsão que eleva deve, entretanto, ser produzido artificialmente pela mecânica terrestre pura: pela força humana, animal, hidráulica, do vapor, etc. E essa circunstância, essa necessidade de combater artificialmente a atração natural, gera, entre os mecanicistas um modo de ver segundo o qual a atração, ou seja, a gravidade (ou, como eles dizem, a força da gravidade) *representa o essencial*, a forma fundamental do movimento na Natureza.

Se, por exemplo, levantarmos um peso e, por meio de sua queda direta ou indireta, for transmitido movimento a outros corpos, nesse caso, segundo o ponto de vista dos mecanicistas, não é o *levantamento* do peso que transmite esse movimento, mas a força da *gravidade*. Assim é, por exemplo, que Helmholtz faz atuar

"a força mais conhecida e mais simples — a gravidade — como força motriz ... por exemplo, nesses relógios de parede movidos por um peso. O peso ... não pode obedecer a atração da gravidade, sem por em movimento todo o mecanismo do relógio".

Mas não pode por em movimento o mecanismo do relógio, sem que ele próprio vá baixando até que o cabo onde está dependurado tenha se desenrolado por completo:

"Então, o relógio pára: a capacidade de rendimento de seu peso esgotou-se temporariamente. A ação da gravidade não se perdeu nem foi diminuída; o peso continua a ser atraído, como dantes, pela Terra; o que se perdeu foi a capacidade dessa gravidade produzir movimento... Mas podemos dar corda ao relógio, elevando novamente, com a força de nossos braços o peso que lhe transmitia o movimento. No momento em que isso acontece o peso recupera a capacidade de rendimento anterior e pode manter, de novo, o relógio em funcionamento".

[Helmholtz, Populare Vortrage (Conferências Populares), II, 144/145].

Segundo Helmholtz não é, portanto, o levantamento do peso, isto é, a comunicação ativa de movimento, o que aciona o mecanismo do relógio, mas a gravidade passiva do peso, muito embora essa mesma gravidade somente seja tirada de sua passividade graças ao fato de haver sido o peso levantado, voltando à sua passividade uma vez desenrolado o cabo que o suspende. De maneira que, segundo a concepção mais moderna, a **energia** nada mais é do que outra forma de se expressar o contrário da repulsão: a **atração**. Por enquanto, contentamo-nos apenas com verificar esse fato.

Depois que o processo da mecânica terrestre alcançou seu objetivo final, depois que o peso foi levantado e, em seguida, desceu desde a altura a que foi elevado, que é feito do movimento em que se transformou esse processo? Para a mecânica pura, o mesmo desapareceu. Mas agora sabemos que, de forma nenhuma, ele foi destruído. Uma pequena parte sua converteu-se em ondas sonoras e uma parte muito maior, em calor. Esse calor, por sua vez, foi em parte transmitido à atmosfera; outra parte ao próprio corpo que serviu de peso, e outra parte, finalmente, ao mecanismo sonoro. Também o peso do relógio transmitiu pouco a pouco, sob a forma de calor de fricção, seu movimento às diferentes rodas do mecanismo do relógio. Mas

não foi o movimento de queda, como se costuma dizer, isto é, — a atração — o que se transformou em calor, ou seja, em uma forma de repulsão. Pelo contrário, a atração (a gravidade) continua sendo, como Helmholtz faz notar acertadamente, o que era antes ou, se quisermos ser mais exatos, torna-se ainda maior. É a repulsão comunicada ao corpo levantado (em virtude do ato de levantá-lo) que, em virtude da queda deste, é destruída **mecanicamente** e renasce como calor. A repulsão de massas é transformada em repulsão molecular.

O calor, como já o dissemos, é uma forma de repulsão. Imprime vibrações às moléculas dos corpos sólidos, afrouxando assim a conexão entre essas moléculas até que se verifica a transição ao estado líquido; com a transmissão continuada de calor, acentuam-se os movimentos das moléculas, no líquido, até um grau em que as mesmas se desprendem da massa e se movem isoladamente, em liberdade, com uma velocidade determinada mas condicionada, para cada molécula, por sua constituição química; e sua velocidade se eleva ainda mais, caso prossiga a transmissão de calor, daí resultando que as moléculas se afastem cada vez mais entre si.

Mas o calor é uma forma do que se denomina *energia*; esta se mostra pois, também neste caso como sendo idêntica à repulsão.

Nos fenômenos da eletricidade estática e do magnetismo, encontramos a atração e a repulsão distribuídas polarmente. Seja qual for a hipótese que se pretenda fazer prevalecer, no que se refere ao *modus operandi* de ambas as formas de movimento, ninguém pode por em dúvida, em face dos fatos, que a atração e a repulsão (na medida em que são produzidas pela eletricidade estática ou pelo magnetismo e podem atuar sem obstáculos) compensam-se total e mutuamente, o que resulta, na realidade e necessariamente, da própria natureza da repartição polar. Dois polos cujas ações não se compensassem mútua e inteiramente, não seriam exatamente polos; e, além do mais, o fato é que até agora não foram ainda descobertos na Natureza. Deixamos, por enquanto, fora de apreciação o galvanismo, por isso que, neste, o processo é condicionado por certas reações químicas que o tornam mais complicado. Em face disso, investiguemos, de preferência, os próprios processos de movimento químico. Quando duas partes (em peso) de hidrogênio de se combinam com 15,96 de oxigênio, para produzir vapor de água, durante esse processo se desenvolve uma certa quantidade de calor, correspondente a 64.924 unidades de calor. Inversamente, se quisermos decompor 17,96

unidades peso de vapor de água em dois de hidrogênio e 15,96 de oxigênio, isso só será possível sob a condição de que seja transmitido ao vapor de água uma quantidade de movimento equivalente a 68.924 calorias, quer sob a forma de calor, quer de movimento elétrico. A mesma coisa se verifica em relação a todos os demais processos químicos. Na grande maioria dos casos, é produzido movimento durante a combinação, movimento esse que precisa ser fornecido para se obter a decomposição. Neste caso também a repulsão é, em regra, o lado ativo do processo, o mais dotado de movimento e aquele que também o exige; e a atração, o lado passivo, aquele que dispensa o movimento e até o cede. Daí surgiu a moderna teoria segundo a qual, em geral, a combinação de elementos põe energia em liberdade, sendo esta absorvida pela decomposição. A energia apresenta-se, assim, novamente, como repulsão. Mais uma vez insiste Helmholtz :

" Podemos considerar essa força (a afinidade química) ... como sendo uma força de **atração**... A força de atração existente entre os átomos de carbono e de oxigênio executa um trabalho, da mesma forma que a Terra o exerce, sob a forma de gravidade, sobre um peso levantado... Quando os átomos de carbono e de oxigênio se precipitam uns em direção aos outros e se combinam, formando o anidrido carbônico, as partículas deste devem estar possuídas do mais violento movimento, isto é, de movimento calórico... Quando, mais tarde, tiverem cedido seu calor ao meio ambiente, teremos, no anidrido carbônico, todo o carbono, todo o oxigênio e também a afinidade química entre ambos, exercida com a mesma força anterior. Esta, porém, se manifesta agora apenas pelo fato de que mantém ligados, uns aos outros, os átomos de carbono e de oxigênio, não permitindo que os mesmos se separem" (loc- cit., pág. 169).

Da mesma forma que antes, Helmholtz insiste em que, na química, tal como na mecânica, a força consiste apenas no que se denomina **atração**, sendo, portanto, precisamente o contrário daquilo que outros físicos denominam energia, o mesmo enfim que **repulsão**.

Assim, temos agora já não as simples formas fundamentais de atração e repulsão, mas sim toda uma série de subformas, sob as quais o processo de evolução e involução do movimento universal se realiza em oposição à atração e à repulsão. Mas não é, de maneira alguma, apenas

o nosso raciocínio que inclui todas essas formas atuantes, sob a denominação comum de movimento. Pelo contrário, elas mesmas se manifestam, no que a isso se refere, como formas de um mesmo movimento, pelo lato de se transformarem, umas nas outras, sob determinadas circunstâncias. O movimento mecânico de massas se transforma em calor, em eletricidade, em magnetismo; o calor e a eletricidade provocam a decomposição química; a combinação química, por sua vez, produz calor, eletricidade e, por meio desta, magnetismo; finalmente, o calor e a eletricidade produzem, novamente, movimento mecânico. E o produzem de tal modo que, a determinada quantidade de movimento de uma certa forma, corresponde sempre uma determinada quantidade de movimento de outra forma, sendo indiferente a forma de movimento da qual foi tomada a unidade de medida com que se avalie essa quantidade de movimento: tanto faz que se utilize, para medir o movimento de massas, o calor, ou a chamada força eletromotriz, ou o movimento em que são transformados certos processos químicos.

Entramos, assim, no terreno da teoria da **conservação da energia**, fundada por J. R. Mayer, em 1842<sup>(1)</sup>, e desde então internacionalmente desenvolvida, com brilhante êxito. Falta-nos agora investigar as noções fundamentais com que hoje opera essa teoria e que são as noções de **força, ou energia** e a de **trabalho**.

Já se disse, mais acima, que a moderna noção de **energia**, hoje quase geralmente aceita, expressa a repulsão, enquanto Helmholtz expressa a atração por meio da palavra **força. Poder-se-ia** ver, nesse fato, uma simples diferença de forma, sem qualquer interesse (uma vez que a atração e a repulsão se equilibram no Universo), razão pela qual pode parecer indiferente qual o lado da relação que se considere positivo ou negativo; tal como nos é indiferente se, de um certo ponto, de determinada linha, contarmos as abscissas positivas para a direita ou para a esquerda. Mas este não é absolutamente o caso.

Antes de mais nada, não se trata aqui do Universo, mas de fenômenos que se produzem na Terra e que estão condicionados pela posição que ocupa esta no Sistema Solar e a deste em relação ao Universo. Nosso Sistema Solar cede, a cada instante, enormes quantidades de movimento ao espaço cósmico; e um movimento de qualidade perfeitamente determinada: calor solar, quer dizer, repulsão.<sup>(4)</sup> Nossa Terra, pelo contrário, é sustentada apenas pelo calor Solar, por ela em parte irradiado depois de havê-lo transformado parcialmente em outras

formas de movimento. No Sistema Solar e especialmente em nossa Terra, a atração adquiriu já, dessa maneira, um notável predomínio sobre a repulsão. Sem a repulsão que nos é irradiada pelo Sol, desapareceria todo o movimento na Terra. Se o Sol esfriasse, a atração continuaria sendo, na Terra, em igualdade de outras circunstâncias, a mesma que é agora. Uma pedra de 100 quilos, continuaria pesando 100 quilos, no lugar onde está. Mas o movimento, tanto das massas, como das moléculas e dos átomos, chegaria a um ponto de imobilidade que, segundo nossas concepções, seria absoluto. Por conseguinte, torna-se claro: para processos que se verificam na **Terra** de hoje, não é certamente indiferente que se conceba a atração ou a repulsão como o lado ativo do movimento, ou seja, que se considerem *força* e energia como sendo a mesma coisa. Na Terra de hoje, a atração, em vista de seu decidido predomínio sobre a repulsão, tornou-se **totalmente passiva**: todo o seu movimento ativo devemos-lo ao fornecimento de repulsão recebido do Sol. Em consequência, a nova escola — mesmo quando não tenha sabido esclarecer a natureza das relações do movimento — tem inteira razão quando, atendo-se ao problema e com referência aos processos **terrestres** (bem como de todo o sistema solar), concebe a energia como repulsão.

O termo **energia** não traduz corretamente, por certo, todas as relações de movimento, já que apenas considera um aspecto do mesmo, — a ação — mas não a reação. O termo é também apresentado como alguma coisa exterior à matéria, como algo que lhe tivesse sido enxertado. Apesar disso, deve ser ele preferido à expressão **força**.

A noção de força, tal como foi por todos aceita (de Hegel a Helmholtz), foi tomada de empréstimo à ação do organismo humano em seu meio. Referimo-nos sempre à força muscular, à força de levantamento dos braços, à força elástica das pernas, à força de digestão do estômago e do tubo intestinal, à força de sensibilidade dos nervos, à força de secreção das glândulas, etc. Em outras palavras: para evitar-mos a indicação da verdadeira causa de certas modificações uma causa fictícia, emprestando-lhe uma determinada força. E aplicamos, em seguida, esse cômodo método ao mundo exterior, inventando para isso tantas forças quantos são os fenômenos existentes.

Nessa fase ingênua se encontravam as ciências naturais (com exceção talvez da mecânica celeste e da terrestre), ainda nos tempos de Hegel, que, com toda a razão, insurgiu-se contra

essa maneira de, então, se denominarem as forças (citar trecho). A mesma coisa diz noutra passagem:

“É melhor (dizer) que o ímã tem uma alma (como se expressa Thales) do que dizer que tem a força de atrair; a força é uma espécie de propriedade **separável da matéria**, sendo apresentada como um predicado; enquanto que a alma **é um movimento da matéria, uma coisa que faz parte integrante da natureza desta**” (História da Filosofia, I, pág. 208).

Atualmente, não tratamos essas forças tão levemente como as tratávamos então. Ouçamos Helmholtz:

“Se conhecemos integralmente uma lei natural, devemos exigir a sua validade sem exceções...Assim, a lei é por nós concebida como uma potência objetiva; e, de acordo com isso, a denominamos **força**. Objetivamos, por exemplo, a lei de refração da luz como uma força de refração das substâncias transparentes; a lei das afinidades químicas eletivas, como uma força de afinidade das diferentes substâncias entre si. Referimo-nos, assim, a uma força elétrica de contato entre os metais, e uma força de adesão, a uma força de capilaridade a muitas outras. Com esses nomes são objetivadas leis que, a princípio, abrangem apenas pequenas séries de processos naturais **cujas relações são ainda bastante complicadas**... a força não é mais do que a lei objetivada do efeito... O conceito abstrato de força, por nós introduzido, demonstra apenas que não inventamos arbitrariamente essa lei, que é uma lei compulsória dos fenômenos. Nossa exigência de compreender os fenômenos naturais, ou seja, descobrir suas leis, adquire assim outra forma de expressão: a de que devemos determinar as forças que constituem as causas dos fenômenos”. (loc-cit., págs. 189191; Conferência de Innsbruk, de 1869).

Em primeiro lugar, constitui maneira muito peculiar de **objetivar**, essa de introduzir, numa lei já estabelecida como independente de nossa subjetividade (ou seja, uma lei já perfeitamente objetiva), o conceito **puramente subjetivo** de força. Semelhante coisa poderia ser permitida, quando muito, a um velho hegeliano adstrito à mais severa fidelidade à doutrina; mas não a um neokantiano como Helmholtz. Não se acrescenta a mínima objetividade nova à de uma lei já estabelecida ou à objetividade de uma ação quando nela introduzimos uma força: o que lhe acrescentamos é a nossa **afirmação subjetiva** de que ela atua em virtude de uma força

inteiramente desconhecida no momento. Mas o sentido oculto dessa introdução pode ser percebido quando Helmholtz apresenta-nos exemplos: refração da luz, afinidade química, eletricidade de contato, adesão, capilaridade, elevando as leis reguladoras desses fenômenos aos estados nobiliários **objetivo de forças**. ("Com esses nomes, são objetivadas as leis que abrangem, de início, pequenas séries de processos naturais, cujas relações **são ainda bastante complicadas**"). É neste ponto, precisamente, que adquire um sentido essa **objetivação** que é, antes, uma subjetivação: não porque tenhamos reconhecido inteiramente a lei, mas sim, exatamente, por **não ser** este o caso, porque ainda nos encontramos às escuras, no que diz respeito a essas condições **bastante complicadas**. Justamente por isso, nos refugiamos na palavra **força**. Manifestamos assim, portanto, não os nossos conhecimentos científicos, mas sim a nossa **falta** de ciência a respeito da natureza da lei e de seu modo de atuar. Nesse sentido, como expressão abreviada de uma relação causal ainda não determinada, como recurso de emergência do idioma, pode acontecer que a usemos ocasionalmente. Mas isso só dará maus resultados. Com o mesmo direito com que Helmholtz explica os fenômenos físicos por meio de uma pretensa força de refração da luz, força de contato elétrico, etc. Com esse mesmo direito os escolásticos da Idade Média explicavam as mudanças de temperatura por meio de uma **vis calorífica** e de uma **vis frigifaciens**, fugindo assim a qualquer investigação dos fenômenos caloríficos.

Também nesse sentido fica demonstrada a distorção resultante do uso desse conceito de **força**. Com efeito, todo ele é expresso de maneira unilateral. Todos os processos naturais são bilaterais, fundando-se sobre a relação de, pelo menos, dois lados atuantes: a ação e a reação. O conceito de força, pelo fato de proceder da ação do organismo humano sobre o mundo exterior (e também da mecânica terrestre), pressupõe que uma das partes é ativa e a outra é passiva, apenas recebendo. Estabelece, assim, a extensão de uma diferenciação de ordem sexual, até agora não verificável, às existências inanimadas. A reação da outra parte sobre a qual atua a pretensa força aparece, quando muito, como uma reação passiva, como uma **resistência**. Tal maneira de raciocinar é admissível numa série de domínios (mesmo fora da mecânica pura), quando se trata de uma simples transmissão de movimento e de sua medição. Mas, nos processos mais complexos da física, como o demonstram os próprios exemplos de Helmholtz, já

não bastam. A força de refração da luz reside, não só na própria luz como também nos corpos transparentes. Na adesão e na capilaridade, a força reside, ao mesmo tempo, na superfície sólida e no líquido. Na eletricidade de contato, é perfeitamente seguro que ambos os metais contribuem, cada um com sua parte; e a **força de afinidade química**, se é que está em alguma parte, estará por certo nas **duas partes** que combinam. Mas uma força que consta de duas forças separadas, uma ação que não provoca uma reação, mas é atuante por si mesma, não é uma força no sentido com que é empregada na mecânica terrestre, a única ciência em que se sabe verdadeiramente o que significa uma força. Porque as condições fundamentais da mecânica terrestre são, em primeiro lugar, a negativa de investigar as causas do impulso, isto é, a natureza da força atuante no momento; e, em segundo lugar, a concepção da unilateralidade da força, à qual se opõe, sempre e em cada ponto, a mesma gravidade; de maneira que, relativamente a cada distância de queda terrestre, o raio da Terra é considerado igual ao infinito.

Continuemos examinando como Helmholtz objetiva suas forças , dentro das leis naturais.

Em uma Conferência de 1854 (loc.cit., pág. 119) investiga ele a *provisão de força de trabalho*<sup>(5)</sup> que continha originariamente a esfera nebulosa que deu origem ao nosso sistema solar.

"Na realidade, lhe havia sido dada uma imensa provisão a esse respeito, considerando-se apenas a que possui sob a forma de atração geral, de todas as suas partes entre si".

Isso é indubitável. É também indiscutível, no entanto, que toda essa provisão de gravitação ou gravidade subsiste intacta no atual sistema solar, descontando-se talvez uma pequena quantidade que se tenha perdido na matéria irrevogavelmente lançada ao espaço Cósmico. E acrescenta ele:

"Também as forças químicas deviam estar presentes, prontas para atuar; mas, como essas forças somente podem, entrar em ação mediante o contato mais íntimo das diferentes massas, era preciso aparecer, primeiro, a condensação para que então comesçassem a atuar".

Se concordarmos com Helmholtz, admitindo essas forças químicas, como forças de afinidade, ou seja, como **atração**, nesse caso devemos também dizer que a soma total dessas

forças químicas de atração persiste intacta dentro do sistema solar. Logo em seguida, porém, indica Helmholtz na mesma página, como resultados de seus cálculos, "que apenas subsistem cerca de  $1/454$  avos da força mecânica primitiva, como tal, dentro do sistema solar. Como é possível conciliar tais coisas? A força de atração, tanto a geral como a química, continua ainda intacta, no sistema solar. Outra fonte certa de força não é indicada por Helmholtz. É verdade que, segundo ele, essas forças realizaram um trabalho gigantesco. Mas, nem por isso, foram multiplicadas ou diminuídas. Tal como ao peso do relógio, a mesma coisa acontece a cada molécula do sistema solar e a este próprio. "Sua gravidade não foi perdida, nem reduzida". Tal como se viu na passagem anterior, referente ao carbono e ao oxigênio, a mesma coisa acontece com todos os elementos químicos: temos sempre a totalidade da quantidade dada de cada um, bem como "toda a força de afinidade que subsistir, com a mesma força anterior". Que foi que se perdeu, então? E que força teria realizado esse enorme trabalho, 453 vezes maior do que aquele que pode fornecer ainda nosso sistema solar? Até este momento, Helmholtz não nos deu resposta alguma. Mais adiante, porém, diz ele:

"Se havia uma **outra provisão de força, sob a forma de calor**, não o sabemos". Com licença. O calor é uma força repulsiva; atua, portanto, em sentido **contrário** ao da gravidade, bem como à afinidade química, sendo, pois, uma quantidade negativa, se considerarmos aquela como positiva. Por conseguinte, se Helmholtz imaginou sua provisão originária como sendo composta de força de atração geral e química, então a provisão de calor que existisse além dessa, não poderia ser a **ela** acrescentada, mas subtraída. De modo contrário, o calor solar teria que **reforçar** a força de atração da Terra quando, precisamente, em **oposição** a ele faz com que se evapore sua água e se eleve o seu vapor; ou então, o calor de um cano de ferro incandescente, pelo qual é conduzido o vapor de água deveria **reforçar** a atração entre o hidrogênio e o oxigênio, quando a verdade é que, pelo contrário, a anula. Ou ainda, para dizer a mesma coisa de outra maneira: admitamos que a esfera nebulosa, de raio  $r$  e, portanto, de volume igual a  $\frac{4}{3} \pi r^3$  tenha uma temperatura igual a  $t$ . Suponhamos, em seguida, uma segunda esfera de igual massa e que, possuindo uma temperatura  $T$ , mais elevada, tenha um raio maior  $R$ , sendo seu volume igual a  $\frac{4}{3} \pi R^3$ . Dessa maneira, torna-se claro que, na segunda nebulosa, a atração (tanto a mecânica, como a física e a química) só poderá atuar com a mesma força que na

primeira, quando seu raio  $R$  se tenha contraído, igualando-se a  $r$ ; quer dizer, quando tenha irradiado, no espaço cósmico, a quantidade de calor correspondente à diferença de temperatura  $T - t$ . A esfera nebulosa mais quente, demorará portanto mais tempo para condensar-se do que a mais fria. Por conseguinte, o calor, como obstáculo à condensação e considerado sob o ponto de vista de Helmholtz, não é nenhum plus, mas sim um minus da **provisão de força**. Helmholtz incorre, pois, decididamente em um erro de cálculo ao supor a possibilidade de que uma determinada quantidade de movimento **repulsivo**, sob a forma de calor, se agregue às formas **atrativas** de movimento, tornando maior a soma delas.

Reduzamos agora toda essa **provisão de força**, tanto a possível como a demonstrável, a um mesmo denominador para que seja possível sua ação. Como não podemos, por enquanto, inverter o calor, substituindo sua repulsão pela atração equivalente, teremos que proceder a essa inversão com ambas as formas de atração. Teremos então, em vez da força de gravitação geral, em vez da afinidade química e em vez do calor possivelmente existente como tal, desde o princípio, apenas a soma (do movimento de repulsão — ou a chamada energia — existente na esfera nebulosa, no momento em que se tornou independente. E dessa forma, termina o cálculo de Helmholtz, no qual pretende incluir o cálculo do **aquecimento** que "devia ser produzido em virtude da condensação inicial, admitida, dos corpos de nosso sistema, da substância nebulosa, dispersa". Reduzir assim toda a **provisão de força** a calor, repulsão, faz com que seja também possível acrescentar, à adição, a suposta **provisão de calor**. Então o cálculo indica, na verdade, que  $\frac{53}{454}$  avos de toda a energia originária, existente na esfera nebulosa, foram irradiados no espaço cósmico sob a forma de calor ou, falando com maior exatidão, que a soma de toda a atração existente no atual sistema solar representa a repulsão ainda existente nele, segundo a relação de 454 para 1. Neste caso, porém, o cálculo contradiz frontalmente o texto da Conferência à qual está junto como apêndice.

Mas, se a noção de força dá motivo a semelhante confusão de conceitos, mesmo no caso de um físico da estrutura de Helmholtz, constitui isso a melhor prova de que a mesma é cientificamente imprestável em todos os ramos da investigação que ultrapassem os limites da mecânica analítica. Na mecânica, consideram-se as causas do movimento como dadas: ninguém se preocupa com sua origem, mas apenas com seus efeitos. Por conseguinte, se designarmos,

como força, a causa de um movimento, isso não prejudica à mecânica como tal. Mas, se nos habituarmos a aplicar essa designação também à física, à química e à biologia, a confusão é inevitável. Já o verificamos e haveremos de verificá-lo outras vezes.

Quanto ao conceito de trabalho, dele nos ocuparemos no próximo capítulo.

### Notas de rodapé:

(1) Hoje em dia já é bem conhecida a natureza de muitos processos químicos e elétricos do corpo animal. (N. de Haldane)

(2) Os físicos que não haviam lido a obra de Engels assombraram-se diante da descoberta de que, inclusive na vizinhança do zero absoluto de calor, os átomos conservam ainda um vigoroso movimento interno. (N. de Haldane)

(3) A partir da época de Helmholtz foram descobertas as enormes forças atrativas entre certos núcleos atômicos. Se as tomarmos em consideração, a perda é muitíssimo menor. (N. de Haldane)

(1) Helmholtz, em suas *Populare Vorlesungen*, II pág. 113, parece atribuir-se uma certa participação na demonstração científica da invariabilidade quantitativa de movimento, da mesma forma que Mayer, Joule e Colding. "Eu próprio, sem nada saber a respeito de Mayer e de Colding, tomando apenas conhecimento das experiências de Joule, já no final de meu trabalho, **havia tomado o mesmo caminho**; ocupei-me em investigar todas as relações entre os diversos processos naturais que podiam ser deduzidos desse modo de consideração, e publiquei minhas investigações em 1847, num pequeno trabalho sob o título *Über die Erhaltung der Kraft*." Mas nesse escrito nada se encontra de novo a respeito da situação imperante em 1847, com exceção das descobertas mencionadas, matematicamente muito valiosas, segundo as quais a **conservação da força** e a ação central das forças que atuam entre os diversos corpos de um Sistema são apenas duas expressões distintas de uma mesma coisa; e, além disso, uma formulação mais exata da lei segundo a qual a soma das forças vivas e tensionais<sup>(a)</sup>, em um sistema **mecânico** dado, é constante. Em tudo mais, já havia sido superado a partir do segundo trabalho de Mayer, de 1845. Já em 1842, Mayer defendia a tese da **indestrutibilidade da força** e, a partir de seu novo ponto de vista, em 1845, afirma, a respeito das **relações entre os diversos processos naturais**, coisas muito mais geniais do que Helmholtz, em 1847.

(Nota de Engels)

(a) **Força viva** ou **vis vivas** é agora denominada energia cinética; e a **força tensional** chama-se energia potencial (N. de Haldane)

(4) Mais uma vez, estava Engels na dianteira sobre seus contemporâneos. Foi somente em 1900 que Lebedeff demonstrou que o calor radiante e a luz exercem repulsão sobre os corpos que os emitem, absorvem ou refletem. (N. de Haldane)

(5) Atualmente devíamos denominá-la energia potencial. (N. de Haldane)