

A DIALÉTICA DA NATUREZA.

Friedrich Engels

PREFÁCIO

A moderna investigação da Natureza é a única que conseguiu um desenvolvimento científico, sistemático e múltiplo, em contraste com as intuições filosófico-naturalistas dos antigos e com as descobertas, muito importantes, mas esporádicas e em sua maior parte carentes de resultados, realizadas pelos árabes. A moderna investigação da Natureza data, como toda a história moderna, dessa época poderosa a que nós, os alemães, denominamos a *Reforma*, depois da desgraça nacional que, por sua causa, nos aconteceu, a que os franceses chamam de *Renascença* e os italianos de *Cinquecento*, época que nenhum desses nomes explica exatamente. Ela se inicia na segunda metade do século XV. A realeza, apoiando-se nos habitantes das cidades ou sejam os burgueses, enfraqueceu o poder da nobreza feudal e fundou as grandes monarquias, baseadas essencialmente no conceito de nacionalidade. Sob esse regime, alcançaram grande desenvolvimento as modernas nações européias e a moderna sociedade burguesa. E, enquanto a burguesia e a nobreza continuavam engalfinhadas, a revolução camponesa alemã assinalou profeticamente as lutas de classe, trazendo à cena não só os camponeses sublevados - o que já não era novidade -, mas também, por trás deles, o esboço do proletariado atual, tendo, nas mãos uma bandeira vermelha e, nos lábios, a exigência da comunidade de bem.

Nos manuscritos encontrados depois da queda de Bizâncio e nas estátuas antigas descobertas em escavações feitas nas ruínas de Roma, desvendou-se aos olhos do Ocidente assombrado um verdadeiro mundo novo: a antigüidade grega. Diante de suas luminosas figuras, desapareceram os fantasmas remanescentes da Idade Média. Na Itália surgiu um florescimento artístico inesperado, resultado reflexo da antigüidade clássica e que nunca mais voltou a ser alcançado. Na Itália, na França e na Alemanha surgiu uma nova literatura, a primeira moderna. Inglaterra e Espanha viveram, pouco depois, sua época de literatura clássica. Foram derrubados os muros do antigo *orbis terrarum*; a Terra foi, então, realmente descoberta, lançando-se as bases do futuro comércio mundial, bem como a transição do artesanato à manufatura, que foi, por sua vez, o ponto de partida da moderna grande indústria. Foi atenuada a ditadura espiritual da Igreja. Os povos germanos repeliram-na, em sua maioria, tendo adotado o Protestantismo, enquanto que, entre os povos latinos, estabeleceu-se uma alegre liberdade de pensamento, imitada dos árabes e alimentada pela filosofia grega, recentemente descoberta, tendo-se assim preparado o terreno para o materialismo do século

XVIII.

Foi essa a maior revolução progressista que a humanidade havia vivido até então, uma época que precisava de gigantes e, de fato, engendrou-os: gigantes em poder de pensamento, paixão, caráter, multilateralidade e sabedoria. Os homens que estabeleceram o moderno domínio da burguesia eram alguma coisa em quase nada limitados pelo espírito burguês. Muito pelo contrário, o caráter aventureiro dessa época neles se refletiu em certa dose. Não existia, então, quase nenhum homem de certa importância que não tivesse feito extensas viagens; que não falasse quatro ou cinco idiomas; que não se projetasse em várias atividades. Leonardo da Vinci era não só um grande pintor, mas também um grande matemático, mecânico e engenheiro, a quem os mais variados ramos da física devem importantes realizações. Albert Dürer era pintor, gravador, escultor, arquiteto e, além disso, inventou um sistema de fortificações que continha várias das idéias, muito mais tarde assimiladas por Montalembert, das modernas fortalezas alemãs.

Maquiavel era estadista, historiador, poeta e, ao mesmo tempo, o primeiro escritor militar digno de menção nos tempos modernos. Lutero não só limpou os estábulos de Áugias da Igreja, como também o do idioma alemão: criou a prosa alemã moderna e escreveu o texto e a melodia desse coral triunfal que foi a Marselhesa do século XVI. Os heróis dessa época não se achavam ainda escravizados à divisão do trabalho, cuja ação limitativa, tendente à unilateralidade, se verifica freqüentemente entre seus sucessores. Mas o que constituía sua principal característica era que quase todos participam ativamente lutas práticas de seu tempo, tomavam partido e lutavam, este por meio da palavra e da pena, aquele com a espada, muitos com ambas. Daí essa plenitude e força de caráter que fazia deles homens completos. Os sábios de gabinete são a exceção: ou eram pessoas de segunda ou terceira classe, ou prudentes filisteus que temiam queimar os dedos.

Assim também a investigação da Natureza evoluía então, acompanhando a revolução geral, e era, por seu turno, inteiramente revolucionária, uma vez que era forçada a lutar pelo seu direito à existência. Ao lado dos grandes italianos, iniciadores da filosofia moderna, a investigação da Natureza forneceu alguns mártires, levados à fogueira ou aos cárceres da Inquisição. É bastante significativo o fato de que os protestantes sobrepuseram-se aos católicos no que se refere à perseguição à livre investigação da Natureza. Calvino mandou queimar Miguel Servet, quando este estava prestes a descobrir a circulação do sangue, determinando que fosse assado lentamente, durante duas horas, ao passo que a Inquisição se contentava com, apenas e simplesmente, queimar Giordano Bruno.

O ato revolucionário pelo qual a investigação da Natureza declarou sua independência e repetiu, de certo modo, a queima de bulas papais, realizada por Lutero, foi a edição da obra

imortal em que Copérnico, embora timidamente e já próximo da morte, lançou à autoridade eclesiástica sua luva de desafio a respeito das coisas da Natureza. A partir desse ponto, as ciências naturais se emanciparam da teologia, muito embora os esclarecimentos a respeito das pretensões daquelas e desta se arrastem até os nossos dias, não tendo ainda entrado em determinadas cabeças. Mas, desde então, o desenvolvimento das ciências se tem realizado a passo de gigante, podendo-se dizer que ganhou, em força, proporcionalmente ao quadrado da distância (o tempo), considerado o seu ponto de partida. É como se devêssemos demonstrar ao mundo que, daqui por diante, o mais excelso produto da matéria orgânica, - o espírito humano - é regido por uma lei de movimento, contrária à da matéria bruta.

A tarefa principal, nesse primeiro período das ciências naturais, então iniciado, era o domínio das questões mais imediatas. Na maior parte do que havia, quanto a conhecimentos científicos, tornava-se necessário começar tudo desde o princípio. A antigüidade clássica nos havia legado Euclides e o sistema solar de Ptolomeu; os árabes, a numeração decimal, os primeiros elementos da álgebra, a numeração moderna e a alquimia. A Idade Média, cristã, nada nos deixou. Em face de tal situação, tornava-se necessário que se colocassem em primeiro lugar as ciências naturais mais elementares: a ciência dos corpos celestes e terrestres; e, ao lado dela, a seu serviço, a criação e o aperfeiçoamento dos métodos matemáticos. Nesse terreno, grandes coisas foram realizadas. No fim do período assinalado por Newton e Lineu, vamos encontrar esses ramos da ciência já delineados em seus aspectos fundamentais. Os métodos matemáticos, principalmente, foram estabelecidos no que havia de essencial - a geometria analítica, por Descartes, os logaritmos, por Neper, o cálculo diferencial e integral, por Leibnitz e talvez por Newton. O mesmo se pode dizer em relação à mecânica dos corpos sólidos, cujas leis principais foram definitivamente esclarecidas. Finalmente, no que diz respeito à astronomia do sistema solar, Kepler estabeleceu as leis dos movimentos planetários e Newton as incluiu nos leis gerais do movimento da matéria.

Os demais ramos das ciências naturais ficaram muito distanciados do desenvolvimento fundamental daquelas outras. A mecânica dos corpos líquidos e gasosos começou a elaborar-se justamente no fim desse período. A física propriamente dita não havia vencido seus processos iniciais, excetuando-se a ótica, cujos excepcionais progressos foram determinados pelas necessidades práticas da astronomia. A química começava, então, a emancipar-se da alquimia, mediante a teoria flogística. A geologia estava ainda na etapa embrionária da mineralogia; a paleontologia não podia, pois, existir. Finalmente, no campo da biologia, a preocupação principal era a coleta e uma primeira classificação do imenso material, tanto botânico e zoológico, como anatômico e fisiológico. Era apenas possível, então, a comparação das formas viventes entre si, a investigação de sua distribuição geográfica, bem como das

condições climáticas e outras que pudessem influir sobre elas. A esse respeito, somente a botânica e a zoologia conseguiram, até certo ponto, completar-se com as obras de Lineu.

Mas o que, realmente, caracteriza esse período é a elaboração de uma peculiar concepção de conjunto, cujo centro é constituído pela noção da *invariabilidade absoluta da Natureza*. Fosse qual fosse o modo pelo qual a natureza tivesse chegado a existir, uma vez passando a existir devia permanecer tal como era, enquanto existisse. Os planetas e seus satélites, uma vez postos em movimento, pelo misterioso *impulso primeiro*, deviam continuar girando e girando, segundo as elipses estabelecidas, por toda a eternidade ou, pelo menos, até o fim de todas as coisas. As estrelas permaneceriam para sempre fixas e imóveis em seus lugares, sustentando-se nos mesmos graças à *gravitação universal*. A Terra havia sido a mesma, desde sempre ou desde o dia de sua criação, segundo se preferisse acreditar. Os atuais *cinco continentes* haviam sempre existido e haviam tido sempre as mesmas montanhas, vales e rios, o mesmo clima, a mesma flora e fauna, a menos que tivessem sido modificados pela mão humana ou pelo transplante. As espécies de plantas e de animais haviam sido fixadas para sempre, desde suas origens. Cada espécie gerava sempre outra igual e já era avançar muito o fato de Lineu admitir que aqui ou acolá poderiam talvez surgir novas espécies em conseqüência de cruzamentos. Em contraste com a história da humanidade, que se desenvolve no tempo, prescreveu-se à história natural um desenvolvimento apenas no espaço. Negava-se toda a modificação, todo o desenvolvimento na Natureza. A ciência natural, tão revolucionária a princípio, defrontou-se, de repente, com uma Natureza absolutamente conservadora, em que tudo era hoje da mesma forma que havia sido a princípio e na qual tudo teria que permanecer tal como era, até o fim do mundo ou por toda a eternidade.

A ciência natural da primeira metade do século XVIII era muito mais avançada do que a da antigüidade grega no que se refere ao conhecimento e à classificação de seus materiais, mas, ao mesmo tempo, abaixo dela no que diz respeito ao domínio ideal desse material, dentro da concepção geral da Natureza. Segundo os filósofos gregos, o mundo era algo que havia saído do caos e, depois se desenvolvera, isto é, algo que se fora fazendo. Para os naturalistas do período de que nós nos ocupamos, a Natureza era algo ossificado, algo invariável e, para a maioria deles, algo que havia sido feito de um só golpe. A ciência encontrava-se ainda profundamente dominada pela teologia. Por toda a parte se buscava e se encontrava, como último recurso, um impulso exterior que não podia ser explicado pela própria Natureza. Se as leis da atração, pomposamente batizadas por Newton com o nome de gravitação universal, forem concebidas como uma propriedade essencial da matéria, donde vem a força tangencial, não explicada, sem a que seriam impossíveis as órbitas planetárias? Como surgiram as inumeráveis espécies de animais e de plantas. E como surgiu o homem, que não consta ter

existido desde a eternidade? A essas perguntas, a ciência natural freqüentemente respondia lançando a responsabilidade sobre o Criador de todas as coisas. Copérnico, no início desse período, lança a luva do desafio à teologia; Newton o termina com o postulado do primeiro impulso divino. O conceito geral mais elevado a que conseguiu chegar a ciência natural foi o da utilidade das coisas da Natureza, a trivial teologia de Wolff, segundo a qual os gatos foram criados para comer os ratos, os ratos para ser comidos pelos gatos e toda a Natureza, para demonstrar a sabedoria do Criador. A mais alta honraria que se pode atribuir à filosofia dessa época é o fato de não se ter deixado extraviar em consequência da limitação dos conhecimentos das ciências naturais então existentes; o fato de haver - desde Spinoza até os grandes materialistas franceses - persistido em explicar o mundo por si mesmo e não deixar à ciência natural do futuro a justificação detalhada desse conceito.

Incluo os materialistas do século XVIII nesse período, porque não dispunham eles de nenhum outro material de ciências naturais, a não ser o já descrito. A obra transcendente de Kant, que sintetizou todo o conhecimento dessa época (na qual estabelecia que o mundo tivera sua origem no seio de uma nebulosa), continuava desconhecida, sendo que Laplace só veio muito depois deles. É preciso não esquecer que essa antiquada concepção da Natureza, muito embora desmentida em todos os seus pontos pelo progresso da ciência, continuou predominando em toda a primeira metade do século XIX e ainda hoje, no essencial, continua sendo ensinada em todas as escolas.

A primeira brecha nessa concepção petrificada da Natureza foi aberta, não por um naturalista, mas por um filósofo. Em 1755 apareceu a *História Natural e Teoria Geral sobre o Céu*, de Kant. A questão do primeiro impulso era por ele eliminada: a Terra, bem como todo o sistema solar, constituíam algo que se foi formando no transcurso do tempo. Se a grande maioria dos naturalistas houvesse tido menos horror a pensar, esse horror que Newton expressou com a advertência: "*Física, toma cuidado com a metafísica*", seriam levados a deduzir dessa genial concepção de Kant conclusões que lhes teriam poupado intermináveis extravios, bem como um trabalho e tempo imensos, desperdiçados em direções erradas. Isso porque, na obra de Kant, estava o ponto de partida para todo o progresso ulterior. Se a Terra era algo que se tinha sido formando, então estava claro que seu atual estado biológico, geográfico e climático, suas plantas e animais deveriam também ter-se ido formando pouco a pouco. A Terra havia de ter uma história, não só no espaço, das coisas colocadas umas ao lado das outras, como também no tempo, das coisas sucedendo-se umas depois da outra. Se, imediatamente depois da publicação da obra de Kant, houvessem prosseguido decididamente as investigações nesse sentido, as ciências naturais estariam hoje muito mais adiantadas do que estão. Mas, da filosofia, que poderia resultar de bom? A obra de Kant não encontrou eco imediato; só longos

anos depois, Laplace e Herschel tiveram ocasião de aplicar sua doutrina, dando-lhe fundamentos mais detalhados e impondo, gradualmente, a *hipótese da nebulosa*. Descobertas ulteriores concederam-lhe, enfim, a vitória. Entre elas, as mais importantes foram: o movimento próprio das estrelas fixas; a verificação de que há um meio que opõe certa resistência nos espaços interestelares; a prova realizada, por intermédio da análise espectral, da existência dos mesmos corpos químicos em todo o universo e a existência também das massas radiantes sugeridas por Kant.

Apesar disso, pode-se pôr em dúvida que a maioria dos naturalistas tivesse chegado, desde logo, a adquirir consciência da contradição contida no fato de uma Terra que se modifica (embora contenha em si organismos invariáveis} caso a idéia nascente de que a Natureza *não é*, mas sim, um *permanente vir-a-ser e passar*, não tivesse recebido o apoio de outros fatos. Surgiu a geologia e não só se verificou a existência de camadas terrestres colocadas umas sobre as outras, formadas uma depois da outra, como também foram encontrados, nessas camadas, carcaças e esqueletos de espécies animais já extintas, ao lado de troncos, folhas e frutos de plantas que já não existiam, Era, portanto, forçoso reconhecer que não só a Terra, em seu conjunto, mas também sua atual superfície, bem como as plantas e animais que nela vivem, deviam ter uma história, no tempo. Isso foi, a princípio, reconhecido com muita má vontade. A teoria de Cuvier sobre os cataclismas verificados na Terra era revolucionária nas palavras, mas reacionária de fato. Em lugar de uma criação divina única, estabelecia uma série de rápidos atos de criação, convertida esta, por milagre, em uma alavanca essencial da Natureza. Recentemente, Lyell introduziu um conceito racional na geologia, ao substituir essas súbitas revoluções, provocadas por um simples capricho do Criador, por ações graduais de lentas modificações processadas na Terra.

Essa teoria de Lyell era, no entanto, ainda mais incompatível com a noção de espécies orgânicas imutáveis do que as teorias precursoras. A transformação gradual da superfície terrestre, e de todas as condições de vida sobre a mesma, conduzia diretamente à transformação gradual dos organismos e sua adaptação a esse meio que se transformava: conduzia, pois, à variabilidade das espécies. Mas a tradição é uma força não só na Igreja Católica, mas também nas ciências naturais. O próprio Lyell não atinou com a contradição durante muitos anos, e seus discípulos ainda menos. Isso só se pode explicar como resultado da divisão do trabalho, que havia sido introduzida nas ciências naturais, o que limitava cada um, mais ou menos, dentro de uma determinada disciplina especial e que somente a muito poucos não despojava da visão de conjunto.

Entretanto, a física havia feito progressos gigantescos. Seus resultados foram coordenados, quase simultaneamente, em 1842, ano transcendental para esse ramo de investigação da Natureza, por três homens, em diferentes pontos. Mayer, em Heilbronn; e Joule, em Manchester, assinalaram a transformação do calor em energia (3) mecânica e da energia mecânica em calor. Em conseqüência, ficou fora de qualquer dúvida a determinação do equivalente mecânico do calor. Ao mesmo tempo, demonstrou Grove - que não era naturalista profissional, mas advogado inglês, tendo apenas coordenado os resultados físicos já conseguidos - o fato de que todas as chamadas forças físicas podem transformar-se umas em outras, sob determinadas condições: a energia mecânica, o calor, a luz, a eletricidade, o magnetismo e até mesmo a denominada força química. Essa transformação é produzida sem perda alguma de energia. Dessa maneira e por intermédio da física, Grove demonstrou o princípio de Descartes segundo o qual a quantidade de movimento existente no mundo é invariável. Assim sendo, as diferentes energias físicas, por assim dizer, as espécies invariáveis da física, permaneciam unificadas como formas de movimento da matéria, diferenciadas e transformáveis umas em outras segundo leis determinadas. Era assim eliminada da ciência a casualidade da existência de determinado número de forças físicas, ao demonstrar-se suas correlações e formas de transformação. A física chegava, pois, como havia chegado já a astronomia, ao resultado que aponta inevitavelmente, como princípio último, a eterna circulação da matéria em movimento.

A maravilhosa rapidez do desenvolvimento da química, a partir de Lavoisier, e especialmente de Dalton, destruiu, por outro lado, as velhas concepções a respeito da Natureza. Ao preparar no laboratório, ou seja, por via inorgânica, combinações até então só encontradas em organismos vivos, a química demonstrou a validade de suas leis quer no que se refere aos corpos orgânicos, quer aos inorgânicos, dessa maneira transpondo, em grande parte, o imenso abismo que, mesmo depois de Kant, continuava a existir entre a natureza orgânica e a inorgânica.

Finalmente, o uso do método comparativo, por sua vez, tornou possível e necessário, no domínio da investigação biológica (graças à acumulação crescente de material resultante de viagens e expedições científicas, empreendidas sistematicamente desde meados do século XVIII) a exploração mais minuciosa das colônias européias, em todos os países, por especialistas neles radicados (em geral, devido aos processos da paleontologia, da anatomia e da fisiologia, especialmente depois do emprego sistemático do microscópio e do descobrimento da célula). Por um lado, as condições de vida das diferentes floras e faunas foram estabelecidas por meio da geografia física comparada; e por outro, os diferentes organismos foram comparados no referente a seus órgãos homólogos. E o foram, não somente

depois da maturidade, como também em todas as fases de seu desenvolvimento.

Quanto mais profunda e exata se ia fazendo essa investigação, tanto mais se ia desfazendo, entre suas mãos, aquele rígido sistema de uma natureza orgânica invariavelmente fixa. Não somente se transformavam umas em outras, sem remédio, diferentes espécies de plantas e animais, como também apareciam certos animais como o *Amphioxus* e a *Lepidosirena*, (4) que desafiavam todas as classificações existentes, tendo sido encontrados organismos a respeito dos quais não era sequer possível decidir se pertenciam ao reino animal ou vegetal. As lacunas, no arquivo paleontológico, iam sendo gradativamente preenchidas, razão pela qual se impunha, mesmo aos mais recalcitrantes, o resultante paralelismo existente entre a história do desenvolvimento do mundo orgânico, em seu conjunto, e de cada organismo em particular. Tornava-se necessário lançar mão do fio de Ariadne, capaz de apontar o caminho para fora do labirinto em que a botânica e a zoologia parecia que se extraviavam cada vez mais. Era significativo o fato de que, quase simultaneamente com o ataque de Kant à eternidade do sistema solar, lançasse C. F., Wolff, em 1759, o primeiro ataque à invariabilidade das espécies e proclamasse a teoria transformista. E aquilo que, então era apenas uma antecipação genial, tomou forma consistente com as obras de Oken, Lamarck e Baer, sendo levado à vitória por Darwin exatamente cem anos depois, em 1859. Quase ao mesmo tempo, verificou-se que o protoplasma e a célula, (que anteriormente haviam sido já apontados como formas primárias de todos os organismos), existem com vida independente, tal como as formas orgânicas mais primitivas. Dessa maneira, o abismo entre a Natureza orgânica e inorgânica ficava reduzido a um mínimo, sendo eliminada uma das principais dificuldades que se opunham, até então, à teoria da transformação progressiva de todos os organismos. A nova concepção da Natureza ficava, assim, configurada em suas linhas gerais: tudo aquilo que se considerava rígido, se havia tornado flexível; tudo quanto era fixo, foi posto em movimento; tudo quanto era tido por eterno, tornou-se transitório; ficara comprovado que toda a Natureza se movia num eterno fluxo e permanente circulação.

Dessa forma, voltava-se às concepções dos grandes fundadores da filosofia grega: em toda a Natureza desde o menor ao maior, do grão de areia aos sóis, dos protistas (5) ao homem, há um eterno vir a ser e desaparecer, numa corrente incessante, num incansável movimento e transformação. Tudo isso, apenas com uma diferença essencial: tudo quanto, entre os gregos, era uma intuição genial, tornou-se agora para nós o resultado de uma investigação severamente científica, ligada à experiência e, por conseguinte, o conhecimento se apresenta sob uma forma muito precisa e clara. Na realidade, a determinação empírica dessa circulação universal, não está inteiramente livre de falhas, mas estas são insignificantes em comparação com o que já foi determinada com perfeita exatidão. Não podia deixar de ser incompleta a

descrição dos detalhes, se considerarmos que os principais ramos da ciência - astronomia, a química, a geologia - contam apenas um século de existência; a fisiologia comparada, cinquenta anos; e o elemento fundamental de quase todo o desenvolvimento vital - a célula - foi descoberto faz apenas quarenta anos.

De torvelinhos e vapores incandescentes (cujas leis de movimento talvez sejam descobertas depois que as observações de vários séculos, os esclareçam sobre o movimento próprio das estrelas) desenvolveram, por contração e esfriamento, os inumeráveis sóis e sistemas solares de nosso universo insular, (6) limitado pelos anéis estelares mais afastados da Via Látea. Essa evolução não se produziu, evidentemente, em todas as partes, com igual ritmo. A existência, em nosso sistema solar, de corpos escuros não planetários (quer dizer, de sóis apagados), cada vez mais se impõe no campo da astronomia (Mädler). Além disso, (segundo Secchi,) fazem parte de nosso sistema estelar algumas manchas nebulosas que ainda não constituem sóis completos, razão pela qual é possível admitir que outras nebulosas (como sustenta Mädler) sejam universos insulares independentes, muito afastados, cujo desenvolvimento relativo deverá determinar o espectroscópio.

Laplace estabeleceu, de maneira até agora não superada, que todo o sistema solar é proveniente de uma só massa nebulosa; e a ciência posterior cada vez mais o tem confirmado. (7) .

Nos diferentes corpos assim formados - sóis, da mesma maneira que planetas e satélites - predomina, de início, a forma de movimento da matéria a que denominamos de calor. Não são possíveis combinações químicas nem mesmo a uma temperatura semelhante à que possui ainda o Sol. Em que medida o calor se transforma em eletricidade ou magnetismo (8) será determinado por continuadas observações solares. Que os movimentos mecânicos, produzidos no Sol, são resultantes, principalmente, do conflito entre o calor e a gravidade, é um assunto quase resolvido.

Os diferentes corpos se esfriam tanto mais rapidamente quanto menores são. Primeiramente os satélites, os asteróides e os meteoros; do mesmo modo que a nossa Lua está morta há muito tempo. Os planetas se esfriam mais lentamente; e ainda mais lentamente, o corpo central.

Com o esfriamento progressivo, adquirem maior importância as variações das formas físicas de movimento, as quais se transformam umas em outras, até ser alcançado um ponto a partir do qual começam a prevalecer as afinidades químicas, isto é, em que os elementos químicos até então indiferentes, se diferenciam quimicamente, uns depois dos outros, adquirindo propriedades químicas e combinando-se entre si. Essas combinações variam constantemente, de acordo com a queda da temperatura, que não só influi, de diferentes maneiras, sobre cada elemento, mas também sobre as diferentes combinações de elementos em seguida, pela

transformação resultante da queda de temperatura de uma parte da matéria gasosa, primeiro no estado líquido e, depois, no estado sólido; e finalmente, em consequência das novas condições assim produzidas.

A época em que o planeta adquire uma crosta sólida e se verificam acumulações de água em sua superfície coincide com aquela em que seu calor natural é cada vez menor relativamente ao calor recebido do corpo central. Sua atmosfera se torna cenário de fenômenos meteorológicos, no sentido em que hoje entendemos essa palavra; e sua superfície sofre transformações geológicas em consequência das quais os depósitos produzidos pelas precipitações atmosféricas, predominam cada vez mais sobre a influência progressivamente debilitada do seu núcleo incandescente no sentido do exterior. Quando a temperatura desce o suficiente para que, pelo menos em uma parte importante da superfície, não ultrapasse os limites dentro dos quais pode existir a proteína (9), então é possível formar-se, sob condições químicas favoráveis, o protoplasma vivente.

Quais são essas condições prévias favoráveis, não o sabemos ainda, o que não é de estranhar, porque até agora não se conseguiu obter a fórmula química da proteína, já que não sabemos sequer quantas proteínas quimicamente diferentes existem, dado que somente há uns dez anos é conhecido o fato de que a proteína, embora carecendo totalmente de estrutura (10), realiza todas as funções essenciais à vida: digestão, eliminação, movimento, contrações, reação contra as irritações, reprodução. É possível que tenham transcorrido milhares de anos até que aparecessem as condições sob as quais se realizou o primeiro progresso e essa proteína amorfa pudesse constituir a primeira célula, tendo formado seu núcleo e sua membrana. Mas essa primeira célula representava a constituição de todo o mundo orgânico. Primeiro, como é possível admitir-se em virtude de todas as analogias do arquivo paleontológico, desenvolveram-se inumeráveis espécies de protistas não celulares e celulares, dos quais nos foi transmitido unicamente o *Eozoon* canadense (11), tendo-se alguns diferenciado gradualmente, transformando-se nas primeiras plantas e, outros, nos primeiros animais. E, dos primeiros animais, se desenvolveram, principalmente por meio de novas diferenciações, as inumeráveis classes, ordens, famílias, gêneros, espécies animais; em último lugar, o animal em que o sistema nervoso atinge o desenvolvimento mais completo - a dos vertebrados -; e finalmente, entre eles, o vertebrado em quem a Natureza adquire consciência de si mesma: o homem.

Também o homem surge por diferenciação. Não somente individual, diferenciado de uma célula ovular até o organismo mais complicado que produz a Natureza, mas também historicamente. Quando, depois de lutas milenares (12), se fixou finalmente a diferenciação da mão e do pé, donde resultou o caminhar ereto, o homem se tornou diferente do mono;

constituiu-se o fundamento do desenvolvimento da linguagem articulada e da formidável expansão do cérebro que, desde então, tornou intransponível o abismo que separa o homem do macaco.

A especialização da mão: ela significa a *ferramenta*; e a ferramenta significa a tarefa especificamente humana, a reação transformadora do homem sobre a Natureza, sobre a produção. Também os animais, entendidos num sentido limitado, possuem ferramentas; mas apenas como membros de seu corpo: a formiga, a abelha, o castor. Há também animais que produzem, mas sua influência produtiva sobre a Natureza circundante é igual a zero. Unicamente o homem conseguiu imprimir seu selo sobre a Natureza, não só trasladando plantas e animais, mas também modificando o aspecto, o clima de seu lugar de habitação; e até transformando plantas e animais em tão elevado grau que as conseqüências de sua atividade só poderão desaparecer com a morte da esfera terrestre. E tudo isso ele o conseguiu, em primeiro lugar e principalmente, por intermédio da mão. Até mesmo a máquina a vapor, por enquanto sua mais poderosa ferramenta para transformar a Natureza, em última análise e pelo fato de ser uma ferramenta, repousa sobre a mão. Mas, ao lado da mão, se desenvolveu passo a passo o cérebro, tendo aparecido a consciência, primeiro das condições necessárias para serem alcançados determinados efeitos práticos úteis; e, mais tarde, entre os povos mais favorecidos, e resultante dela, a penetração e investigação das leis naturais que os condicionam. E, como o conhecimento rapidamente crescente dessas leis naturais, aumentaram os meios de reagir sobre a Natureza. A mão, por si mesma, não teria jamais realizado a máquina a vapor, se o cérebro do homem não se tivesse desenvolvido qualitativamente, com ela, ao lado dela e, até certo ponto, por meio dela.

Com o homem, entramos na história. Também os animais têm uma história: a de sua descendência e desenvolvimento gradual até seu estado atual. Mas essa história é feita para eles e, na medida em que eles mesmos dela participam, se realiza sem que o saibam ou queiram. Os homens, pelo contrário, quanto mais se afastam do animal, entendido limitadamente, tanto mais fazem eles próprios sua história, correspondendo, cada vez com maior exatidão, o resultado histórico aos objetivos previamente estabelecidos.

Mas, se aplicarmos essa medida à história humana, mesmo que seja a dos povos mais avançados da época atual, verificaremos que inclusive entre eles persiste ainda uma colossal desproporção entre os objetivos fixados e os resultados obtidos; veremos que predominam os efeitos não previstos; que as forças não controladas são muito mais poderosas do que as postas em movimento de acordo com o plano estabelecido. E não pode ser de outra maneira, enquanto a principal atividade histórica do homem, aquela que o elevou da animalidade à humanidade, a que constitui o fundamento material de todas as suas outras atividades - a

produção para as necessidades de sua vida, isto é, hoje em dia a produção social - enquanto essa atividade estiver submetida ao jogo flutuante de influências indesejáveis, de forças não controladas, só excepcionalmente se realizando o objetivo desejado, mas com maior frequência, exatamente o contrário. Nos países industriais mais avançados, o homem dominou as forças naturais, submetendo-as ao seu serviço. Dessa maneira, se conseguiu multiplicar infinitamente a produção, de modo que um menino, hoje em dia, produz mais que cem adultos antes. Qual a conseqüência daí decorrente? Crescente excesso de trabalho e crescente miséria das massas; e a cada dez anos, um grande *krach* (craque ou crise). Darwin não teve a menor idéia da amarga sátira que escrevia sobre os homens (e especialmente sobre seus compatriotas), quando afirmou que a livre competição, a luta pela existência, que os economistas celebram como sendo a maior conquista histórica do homem, constitui exatamente o estado natural do reino animal.

Somente uma organização consciente da produção social, de acordo com a qual se produza e se distribua obedecendo a um plano, pode elevar os homens, também sob o ponto de vista social, sobre o resto do mundo animal, assim como a produção, em termos gerais, conseguiu realizá-lo para o homem considerado como espécie. A partir daí, iniciar-se-á uma nova época histórica, em que os homens como tais, (e com eles, todos os ramos de suas atividades, especialmente as ciências naturais) darão à sociedade um impulso que deixará na sombra tudo quanto foi realizado até agora.

Entretanto, tudo quanto é criado acaba perecendo. Podem escoar-se milhões de anos, centenas de milhares de gerações poderão crescer e morrer; mas inexoravelmente avançava a hora em que o calor solar, que declina lentamente (13), não consiga derreter os gelos invasores, provenientes dos pólos; em que os homens, cada vez mais impelidos para uma faixa em torno do Equador, também ali não encontrarão calor suficiente para viverem; em que, pouco a pouco, desaparecerá até o último resquício de vida orgânica e em que a Terra, esfera congelada e morta como a Lua, girará dentro da mais profunda escuridão, segundo uma órbita cada vez mais próxima do Sol (que também se irá apagando), até ser por ele absorvida. Outros planetas a terão precedido, outros seguirão a mesma sorte; em vez do sistema solar, harmonicamente articulado, luminoso e quente, apenas uma esfera fria e morta prosseguirá seu caminho solitário através do espaço. E a mesma coisa acontecerá, mais cedo ou mais tarde, a todos os outros sistemas de nosso universo insular; sucederá a todos os outros inumeráveis universos insulares, mesmo àqueles cuja luz jamais alcançará a Terra, enquanto nela exista um olho humano vivo, capaz de recebê-la. E, quando um sistema solar tiver terminado o seu ciclo de vida e encontrar o destino de tudo quando é perecível e sucumbe na morte, que mais poderá acontecer? Será que o cadáver solar circulará, pela eternidade do

espaço, indefinidamente, como cadáver; e todas as forças naturais, antes diferenciadas numa ilimitada multiplicidade, se dissolverão na única forma de movimento denominada atração? "Ou será que (como pergunta Secchi, pág. 310) existem forças na Natureza que restituem ao sistema morto o seu estado inicial de névoa radiante e podem fazê-lo despertar para uma nova vida? Nada sabemos a respeito".

Na realidade, não o sabemos no mesmo sentido em que $2 \times 2 = 4$ ou seja, que a atração da matéria aumenta ou diminui segundo o quadrado das distâncias. Mas, de acordo com a teoria das ciências naturais, que elabora sua concepção possível segundo um todo harmônico, e sem a qual nem mesmo o empírico mais empedernido poderá hoje dar um passo, temos que contar freqüentemente com fatores não perfeitamente conhecidos; e a lógica do pensamento deve ter ajudado, em todos os tempos, ao conhecimento insuficiente. Pois muito bem: a moderna ciência natural deve ter adotado, da filosofia, o princípio da indestrutibilidade do movimento, sem o qual não poderia subsistir. Mas o movimento da matéria não é apenas o grosseiro movimento mecânico, a simples mudança de lugar; é calor e luz, tensão elétrica e magnética, associações e dissociações químicas, vida e, finalmente, consciência. Afirmar que a matéria, durante toda a sua existência ilimitada no tempo, apenas uma única vez se encontra diante da possibilidade de diferenciar seu movimento e desenvolver, assim, toda a riqueza desse mesmo movimento, acontecendo isso por um espaço de tempo desprezível em relação a sua eternidade; dizer que antes e depois ela fica reduzida a simples mudanças de lugar, isso equivale a afirmar que a matéria é mortal e o movimento é coisa transitória. A indestrutibilidade do movimento não pode ser concebida apenas no sentido quantitativo, mas também no qualitativo. Uma determinada matéria cujas mudanças simplesmente mecânicas de lugar apresentem a possibilidade de transformar-se, sob certas condições favoráveis, em calor, eletricidade, ação química e vida, mas que não é capaz de gerar, por si mesma, essas condições, semelhante matéria terá *perdido o movimento*. Um movimento que tenha perdido a capacidade de transformar-se nas diferentes formas que lhe são próprias, possui ainda *dynamis*, mas já não apresenta nenhuma energia (14) e assim terá sido, em parte, destruído. Mas ambas essas coisas são inconcebíveis.

O certo é que houve um tempo em que a matéria de nosso universo insular havia transformado em calor uma massa tal de movimento (não sabemos até agora de que classe seria esse movimento) que, em virtude do mesmo, puderam desenvolver-se pelo menos vinte milhões de sistemas solares (segundo Mdler), correspondentes a outras tantas estrelas cuja extinção é também certa. Como se teria produzido essa transformação? Sabemo-lo tão pouco quanto o Padre Secchi sabe se o outro *caput mortuum* de nosso sistema solar será transformado, algum dia, em matéria prima para um novo sistema solar. Mas, uma de duas: ou

devemos, neste caso, recorrer ao Criador, ou somos forçados a admitir a conclusão de que a matéria prima incandescente dos sistemas solares de nosso universo insular foi gerada, em forma natural, por determinadas transformações do movimento, transformações que são naturalmente próprias da matéria em movimento e cujas condições têm, portanto, que ser reproduzidas pela própria matéria, muito embora o sejam depois de muitos milhões de anos e mais ou menos casualmente, mas obedecendo à necessidade, que é também inerente à casualidade.

A possibilidade de semelhante transformação é hoje cada vez mais admitida. Chega-se assim à noção de que os corpos solares estão destinados a se chocarem uns contra os outros e chega-se até a calcular a quantidade de calor que se pode desenvolver em consequência desses choques. O súbito aparecimento de novas estrelas, o repentino aumento da luminosidade de outras já conhecidas coisas sobre as quais somos informados pela astronomia), são fatos mais facilmente explicados uma vez admitidos esses choques (15). Além disso, não só nosso grupo planetário se move em torno do Sol e este dentro de nosso universo insular, como também todo este nosso universo insular move-se, no espaço - num equilíbrio temporário em relação às outras ilhas, isso porque, mesmo um equilíbrio relativo de corpos que flutuam no espaço, só pode subsistir em virtude de movimento reciprocamente condicionado, sendo que alguns cientistas admitem que a temperatura não é a mesma em todo o espaço interestelar. Finalmente: sabe-se que, com exceção de uma parte insignificante, o calor dos inumeráveis sóis de nosso universo insular é perdido no espaço, sendo vãos seus esforços para elevar sua temperatura pelo menos de um milionésimo de grau centígrado (16). Que será feito de toda essa enorme quantidade de calor? Ter-se-á perdido para sempre na tentativa de aquecer o espaço interestelar? Terá deixado praticamente de existir, subsistindo apenas teoricamente pelo fato de que a temperatura do espaço elevou-se de uma fração decimal que começa por dez zeros ou mais? Esse conceito nega a indestrutibilidade do movimento; admite a possibilidade de que, através das sucessivas precipitações dos corpos solares, uns sobre os outros, todo o movimento mecânico existente é transformado em calor e este irradiado no espaço, daí resultando que todo o movimento acabaria destruído, apesar da *indestrutibilidade da força*. (De passagem, é necessário assinalar como é distorcida a denominação indestrutibilidade da força (17), ao invés de *indestrutibilidade do movimento*). Chegamos assim à conclusão de que, por um processo que caberá à futura pesquisa da Natureza esclarecer, o calor irradiado no espaço deve ter a possibilidade de transformar-se em outra forma de movimento, podendo assim voltar a acumular-se e novamente pôr-se em ação. Dessa maneira, desaparece a dificuldade principal que se opõe à possibilidade da transformação dos sóis extintos em névoa incandescente.

Por outro lado, a repetição, segundo um ciclo eterno, dos mundos no espaço infinito, é apenas o complemento lógico da existência de um número infinito de mundos no espaço ilimitado. Este é um princípio cuja necessidade se impõe até mesmo a um cérebro ianque antiteórico de um Draper (John William. 1811-1882) (III).

É um ciclo eterno (18) esse em que se move a matéria, um ciclo cuja trajetória fica encerrada em períodos de tempo para os quais nosso ano terrestre não constitui medida possível; um ciclo em que o momento do mais elevado desenvolvimento (o momento da vida orgânica e, mais ainda, da vida animal e de seres conscientes de sua natureza) está tão rigorosamente medido como o espaço em que a vida e a consciência conseguem realizar-se. Um ciclo em que todo o estado definido da matéria, seja sol ou nebulosa, animal individual ou espécie animal, combinação química ou dissociação, tudo é igualmente passageiro; em que nada é eterno a não ser a matéria em eterna transformação e eterno movimento, bem como as leis pelas quais se move e transforma.

No entanto, por mais freqüente e inexorável que seja a realização desse ciclo, no tempo e no espaço; sejam quantos forem os milhões de sóis e terras que se possam produzir e perecer; por mais longo que seja o tempo requerido para o aparecimento, em um sistema solar (e só em um de seus planetas) das condições necessárias à vida orgânica; embora sejam inumeráveis os seres orgânicos que devam aparecer e desaparecer antes de que, entre eles, se desenvolvam animais com um cérebro capaz de pensar e que encontrem, por um curto período, condições que tornem possível sua vida, para serem logo depois destruídos inexoravelmente; podemos ter a certeza de que a matéria, em todas as suas transformações, permanece sempre a mesma; que não pode perder nenhum de seus atributos; e que, portanto, com a mesma férrea necessidade com que voltará a destruir, na Terra, sua mais alta floração - o espírito pensante - voltará a engendrará-lo em outra parte e noutro tempo.

NOTAS DO PREFÁCIO

(1) - Não padece quase dúvida nenhuma de que Newton e Leibnitz inventaram, independentemente, o cálculo diferencial. Neste e noutros pontos, Engels critica, talvez com uma dureza demasiada, a obra de Newton. Deve-se recordar que a concepção essencialmente mecanicista da natureza, defendida por Newton, havia obtido tão grande êxito durante mais de um século que era já admitida como um dogma e que, em consequência disso, estava retardando o progresso da ciência. Agora que podemos ver o ponto em que Newton se equivocou, talvez possamos apreciar melhor sua grandeza do que era possível fazê-lo quando

era absolutamente necessário criticá-lo. (*Nota de Haldane*)

(I) - Com que inquebrantável firmeza podia sustentar essa opinião, inclusive no ano de 1861, um homem cujos trabalhos científicos forneceram material da maior significação para rebatê-la, fica bem claro nas seguintes e clássicas palavras:

"Todas as configurações de nosso sistema solar, na medida em que podemos compreendê-las, tendem à conservação do que existe e a sua invariável continuação. Da mesma forma que, desde os tempos mais remotos, nenhum animal e nenhuma planta tornaram-se mais perfeitos (ou de alguma maneira diferentes); da mesma forma que, em todos os organismos, só encontramos etapas umas *ao lado* das outras e não sucessivamente; da mesma maneira que nossa raça tem permanecido sempre a mesma no referente aos seus aspectos corporais; assim também, a maior diversidade dos corpos celestes coexistentes não nos autoriza a supor que essas formas são, meramente, diferentes etapas de desenvolvimento, ou melhor, tudo aquilo que é criado é igualmente perfeito por si mesmo" (Mädler, *Astronomia Popular*, Berlin. 5ª edição, 1861, pág 316). (*Nota de Engels*)

(2) - Esta era a regra de que o Sol e seus planetas são a condenação de uma nebulosa rotante. Foi considerada plausível durante mais de um século. Mas atualmente não resta dúvida de que as nebulosas são todas elas enormemente maiores do que o sistema solar; e as nebulosas espirais (duma das quais se pensou haver-se originado o sistema solar) são sistemas de milhares de milhões de estrelas tal como a nossa própria Via Láctea, porém muito mais distantes. Essa hipótese foi, contudo, de uma imensa importância, pois demonstrou, pela primeira vez, que o sistema solar tem uma história. O fato pode ser comparado com as idéias dos antigos a respeito da evolução biológica. (*Nota de Haldane*)

(II) - A falha na concepção de Lyell - pelo menos na sua primeira forma - consiste em considerar as forças que atuavam sobre a Terra constantes em qualidade e quantidade. Não concebia ele o esfriamento da Terra; esta não se desenvolvia - segundo ele - em uma determinada direção: transformava-se, mas de um modo incoerente e casual. (*N. de Engels*)

(3) - Ao longo de todo esse parágrafo, a palavra alemã *Kraft* (força) foi traduzida por *energia*. Joule e outros contemporâneos seus empregavam a palavra *força* justamente onde agora costuma usar *energia*. Veremos mais adiante (pág. 29) que Engels opôs-se ao uso da palavra *Kraft* (ou força) por *energia*. Em certa época, preferiu movimento, mas, em seus últimos escritos, empregava o termo *energia* tal como a maioria dos autores modernos. A mudança realizada esclarece mais o sentido do trabalho de Engels do que se a palavra *força* tivesse sido empregada. (*N. de Haldane*)

(4) - *Lepidosirena* - cordado que pode respirar ar durante meses ou até o fim de sua vida. (*N. de Haldane*)

- (5) - *Protistas* – animais e plantas unicelulares, tais como o *Paramoecium*, a *Ameba*, o *Bacillus*. (N. de Haldane)
- (6) - O fato se refere ao sistema de estrelas de que faz parte o Sol e que representa a região mais densa da Via Láctea. Mädler estava com a razão ao sustentar que muitos dos outros corpos então considerados como nebulosas eram massas semelhantes de estrelas. Sua opinião de que há sóis extintos é mais duvidosa. Também não é provável que as nebulosas gasosas se possam, por acaso, condensar em sóis. (N. de Haldane)
- (7) - A teoria de Laplace quase se pode garantir que está errada. (N. de Haldane)
- (8) - Nas manchas solares foram descobertos intensíssimos campos magnéticos e sabe-se também que a matéria expelida pelas protuberâncias solares é eletricamente carregada. Esses dois fatos eram insuspeitados pela maior parte, senão pela totalidade, dos astrônomos da época em que escrevia Engels. (N. de Haldane)
- (9) - Em todo este livro, a palavra *Eiweiss*, empregada por Engels, é traduzida por proteína. A palavra albumina, empregada na tradução de algumas obras de Engels, é agora unicamente aplicada a um certo grupo de proteínas. As fórmulas químicas de umas poucas proteínas foram estabelecidas, com bastante exatidão, por Bergmann, um refugiado judeu-alemão, em Nova Iorque, em 1936. Mas a ordem em que estão dispostos seus elementos constitutivos é mais incompletamente conhecida. É provável que haja muitos milhões de proteínas diferentes. (N. de Haldane)
- (10) - *Proteína carente de estrutura*: o Bathybius Haeckell que - segundo se supunha - era um organismo composto de uma massa de proteína carente de estrutura, ficando logo depois provado ser um artefato, isto é, não um produto natural, mas sim constituído de substâncias químicas que se supunha poder preservá-lo. No entanto, Engels estava, na essência, com a razão. Alguns dos vírus, isto é, os menores agentes causadores da enfermidade, são nada mais do que grandes moléculas de proteína, conforme foi demonstrado por Stanley, em 1936. Parece que não exercem todas as funções da vida, mas apenas algumas. (N. de Haldane)
- (11) - O *Eozoon canadense* não é, quase sem dúvida, um produto orgânico. No entanto, há muitas razões para crer na verdade fundamental deste parágrafo. (N. de Haldane)
- (12) - A escala geológica do tempo é mais ampla do que se acreditava há uns cinquenta anos. Seria mais correto dizer-se milhões de anos. (N. de Haldane)
- (13) - Até há muito pouco tempo pareciam inevitáveis essas conclusões tão fúnebres, principalmente pelo fato de se haver demonstrado que a escala do tempo era enormemente maior do que a suposta. Mas, entre 1936 e 1938, Milne e Dirac chegaram, independentemente, à conclusão de que as próprias leis da Natureza evoluem; e Milne, em particular, concluiu que as transformações químicas se aceleram (numa proporção de

aproximadamente 1/2.000.000.000 parte, por ano) em relação às transformações físicas. Se assim for, é concebível, pelo menos, que esse processo possa ser suficientemente rápido para compensar o esfriamento das estrelas e a vida, portanto, nunca se torne impossível. (*N. de Haldane*)

(14) – *Dynamis e Energia* são palavras gregas empregadas por Aristóteles. Podem ser traduzidas, aproximadamente, como *potência e atividade*. (*N. de Haldane*)

(15) - O aparecimento de novas estrelas é agora explicado, em geral, não como consequência de uma colisão, mas devido a uma crise interna da própria estrela, o que estaria mais de acordo com a dialética. (*N. de Haldane*)

(16) - Na realidade, a temperatura das partículas de pó cósmico, existentes entre as galáxias, deve ser provavelmente de vários graus acima do zero absoluto. (*N. de Haldane*)

(17) - Engels protesta, com toda a razão, contra o uso da mesma palavra *Kraft* para designar *força e energia*. (*N. de Haldane*)

(III) - "A multiplicidade de mundos, no espaço infinito, conduz à concepção de "uma sucessão de mundos, no tempo infinito." (Draper, *History of the Intellectual Development of Europe*, 1864, II, pág. 525). (*N. de Haldane*)

(18) - Atualmente os físicos estão divididos em face dessa questão. Alguns poucos participam da opinião de Engels, segundo a qual o universo experimenta transformações cíclicas, diminuindo, de certa forma, a entropia por processos até agora desconhecidos (por ex.: formação de matéria originária de radiações interestelares). Outros pensam, como Clausius (ver *Apontamentos*, nota IV), que haverá degradação. Há, porém, uma terceira possibilidade. Como foi dito mais acima, o trabalho de Milne sugere que o universo, em seu conjunto, tem uma história, muito embora seja infinita, no passado e no futuro. É quase certo que Engels teria dado seu beneplácito a essa idéia, apesar de admitir a eternidade das leis segundo as quais se move e se transforma a matéria. Mas a pág. 223 deixa bem claro o quanto Engels se aproximou do ponto de vista de Milne. (*N. de Haldane*)

Natureza Geral da Dialética como Ciência

(Desenvolver a natureza geral da dialética como ciência das relações, em contraste com a metafísica.)

As leis da dialética são, por conseguinte, extraídas da história da Natureza, assim como da história da sociedade humana. Não são elas outras senão as leis mais gerais de ambas essas fases do desenvolvimento histórico, bem como do pensamento humano. Reduzem-se elas, principalmente, a três:

- 1) A lei da transformação da quantidade em qualidade e vice-versa;
- 2) A lei da interpenetração dos contrários;
- 3) A lei da negação da negação.

Essas leis foram estabelecidas por Hegel, de acordo com sua concepção idealista, como simples leis do pensamento: a primeira, na Primeira Parte de sua *Lógica*, na doutrina do Ser; a segunda ocupa toda a Segunda Parte de sua *Lógica*, a mais importante, que é a doutrina da Essência; a terceira, finalmente, figura como lei fundamental da construção de todo o sistema. O erro consiste em que essas leis são impostas à Natureza e à História, não tendo sido deduzidas como resultado de sua observação, mas sim como leis do pensamento. Toda sua construção, erigida sobre essa base, é tão forçada que chega, por vezes, a nos eriçar os cabelos: o mundo, quer o queira, quer não, deve adaptar-se a um sistema de idéias que, por sua vez, nada mais é do que o produto de determinada fase do desenvolvimento do pensamento humano.

Se, entretanto, invertermos a coisa, tudo se torna simples e as leis dialéticas, que parecem tão misteriosas na filosofia idealista, se tornam claras como o Sol.

Por outro lado, todo aquele que conheça razoavelmente a obra de Hegel saberá que ele arranja as coisas, em centenas de pontos de seu trabalho, de maneira que os exemplos mais esclarecedores das leis dialéticas ele os vai buscar na Natureza e na História.

Não nos propomos redigir um tratado de dialética, mas apenas ressaltar que as leis dialéticas são leis reais de desenvolvimento da Natureza e, por conseguinte, válidas no que diz respeito à teoria da ciência naturais. Por esse motivo, não podemos entrar em detalhes quanto à correlação entre as leis.

I) *Lei da transformação da quantidade em qualidade e vice-versa*. Podemos expressá-la, para o objetivo que temos em vista, dizendo que, na Natureza, de um modo que se mantém sempre igual em cada particular, as mudanças qualitativas só se podem realizar por acréscimos ou por subtração quantitativa de matéria ou de movimento (a chamada energia). (1)

Na Natureza, todas as diferenças qualitativas se baseiam, seja em uma composição química diferente ou em diferentes quantidades ou formas de movimento (energia) ou, coisa que acontece quase sempre, em ambas. Torna-se, portanto, impossível modificar a qualidade de

um corpo, sem fornecer-lhe ou tirar-lhe matéria ou movimento, isto é, sem provocar uma mudança quantitativa no corpo em questão. Dessa forma, o misterioso princípio hegeliano se torna, ao mesmo tempo, inteiramente racional e perfeitamente evidente.

Constitui uma tarefa supérflua ressaltar também os diferentes estados alotrópicos (2) ou de agregação dos corpos, por não dependerem de diferenças de agrupamentos moleculares, mas sim pelo fato de serem determinados por quantidades maiores ou menores de movimento que sejam transmitidas aos referidos corpos.

Mas qual é a mudança de forma do movimento ou da chamada energia? Quando transformamos o calor em movimento mecânico ou, inversamente, não se modifica a qualidade, permanecendo invariável a quantidade? Exatamente. Mas a mudança de forma do movimento é como o vício, segundo o define Heine: qualquer pessoa pode ser virtuosa isoladamente, porque para pecar são necessários dois. A mudança de forma do movimento é um processo que se realiza sempre, pelo menos, entre dois corpos, um dos quais perde determinada quantidade de movimento de outra qualidade (movimento mecânico, eletricidade, decomposição química). Quantidade e qualidade se correspondem, pois, em ambos os sentidos e reciprocamente. Até agora não se conseguiu, dentro de um corpo isolado, transformar o movimento, passando-o de uma a outra forma.

Ocupamo-nos, por enquanto, apenas dos corpos inanimados. Para os corpos animados predomina a mesma lei, mas esta se verifica sob condições muito mais complicadas, sendo freqüentemente impossível, hoje em dia, sua medição quantitativa. (3)

Se imaginarmos um corpo qualquer inanimado, dividido e subdividido em partes cada vez menores, a princípio não se verifica nenhuma mudança qualitativa. Mas isso tem um limite; se conseguirmos, como na evaporação, pôr em liberdade as diferentes moléculas, podemos, em geral, continuar dividindo-as, mas somente com uma mudança total da qualidade: a molécula é decomposta em seus átomos e estes possuem propriedades inteiramente diferentes daquela. Em moléculas constituídas de diferentes elementos químicos, ao invés da molécula composta, aparecem os átomos desses elementos. Nas moléculas de corpos simples, aparecem os átomos livres, que exercem efeitos inteiramente diferentes: os átomos livres de oxigênio nascente fazem facilmente o que os átomos prisioneiros na molécula de oxigênio atmosférico não conseguem jamais.

Mas também a molécula é qualitativamente diferente da massa do corpo a que pertence. Pode realizar movimentos independentes dessa mesma massa, embora permaneça aparentemente em repouso: vibrações calóricas, por exemplo; pode, mediante a mudança de sua posição ou de sua relação com as moléculas vizinhas, transformar o corpo em outro estado alotrópico, ou em outra agregação, etc. Vemos assim que a divisão, tendo embora um caráter puramente

quantitativo, impõe um limite, transposto o qual se converte em uma diferenciação qualitativa. A massa consta de moléculas, mas na realidade é qualquer coisa diferente da molécula como esta, por sua vez, é diferente do átomo. É sobre essa diferenciação que repousa a separação da mecânica, como ciência das massas celestes e terrestres, da física, como mecânica da molécula, e da química, como física dos átomos.

Na mecânica, não se trata de qualidades, mas quando muito de estados como o equilíbrio, o movimento, a energia potencial, os quais consistem na transmissão mensurável do movimento e podem ser expressões quantitativamente. Se for produzida, nesse processo, uma mudança quantitativa, esta será determinada por uma correspondente mudança quantitativa.

A física encara os corpos como se fossem quimicamente invariáveis, indiferentes. Nela, temos que nos haver com as mudanças de seus estados moleculares e com as mudanças de forma do movimento que, em todos os casos, pelo menos em um dos lados, é posto em jogo pela molécula. Neste caso, toda mudança é uma transformação de quantidade em qualidade, conseqüência de mudanças quantitativas da quantidade de movimento, sob uma forma qualquer, própria do corpo. "Assim, por exemplo, o grau de temperatura da água é, no começo, indiferente quanto ao seu estado líquido; mas, ao aumentar ou diminuir a temperatura da mesma, chegará um ponto em que seu estado de coesão se modifica e a água é transformada em vapor ou gelo". (Hegel, Enciclopédia, edição das Obras Completas, t. VI, pág. 217). Assim, basta uma corrente elétrica mínima para tornar incandescente o filamento de platina da lâmpada de iluminação; assim é que cada metal tem sua temperatura de incandescência e de fusão; e cada líquido, seu ponto de congelamento e de ebulição sob determinado grau de pressão, como é claro, na medida em que nossos meios nos permitam produzir a temperatura correspondente; e assim, finalmente, cada gás tem um ponto crítico em que a compressão ou o resfriamento o tornam líquido. Em poucas palavras: as chamadas *constantes*, na física, em geral não são mais do que a designação de pontos nodais em que o acréscimo ou subtração quantitativa de movimento, provoca uma mudança qualitativa no estado do corpo considerado, ou seja, em que a quantidade se transforma em qualidade. (4)

Mas o domínio em que a lei natural estabelecida por Hegel celebra os seus maiores triunfos, é no da química. Pode-se definir a química como sendo a ciência das mudanças qualitativas dos corpos em conseqüência das mudanças verificadas em sua composição quantitativa. Já o próprio Hegel sabia disso. (*Lógica*, Obras Completas, t. III, pág. 433). Consideremos o corpo mais ao nosso alcance: o oxigênio. Se três átomos se agruparem em uma molécula, em vez dos dois átomos habituais, teremos o ozônio, corpo muito diferente do oxigênio ordinário, quer por sua cor, que por sua ação. E a imensa variedade de condições em que o oxigênio se combina com o nitrogênio ou o enxofre e nas quais cada uma constitui um corpo

qualitativamente diferente de todos os outros. Quão diferente é o gás hilariante (o monóxido de nitrogênio: $(N_2 O)$) do pentóxido de nitrogênio ($N_2 O_5$)! O primeiro é um gás; o segundo, um corpo sólido, cristalino, sob temperatura ordinária. E, no entanto, toda a diferença de sua composição consiste em que o segundo contém cinco vezes mais oxigênio do que o primeiro. E, entre ambos, há outros três óxidos de nitrogênio ($N O$, $N_2 O_3$ e $N O_2$) cada um dos quais é diferente entre si e diferente dos retrocitados.

Mais notável ainda se manifesta esta lei nas séries homólogas das combinações do carbono, especialmente no referente aos hidrocarburetos simples. O primeiro da série, é o metano. O carbono tem quatro valências que, nesse corpo estão saturadas por quatro átomos de hidrogênio. O segundo, o etano, ($C_2 H_6$), tem dois átomos de carbono unidos entre si, por uma de suas valências, e as outras seis, livres, unidas com seis átomos de hidrogênio. E assim continua a série: $C_3 H_8$, $C_4 H_{10}$ etc., segundo a fórmula $C_n H_{2n + 2}$. Com o acréscimo, cada vez, de um átomo de carbono e dois de hidrogênio, forma-se um corpo qualitativamente diferente do anterior. Os três primeiros termos da série, são gases; o termo mais elevado que se conhece (5) o hexadecano $C_{18} H_{34}$ é um corpo sólido, tendo seu ponto de ebulição a $270^\circ C$. Da mesma forma se comporta a série dos álcoois primários, de fórmula $C_n H_{2n + 2} O$ e os ácidos graxos monobásicos (de fórmula $2O C_n H_{2n} O_2$) ambos derivados (teoricamente) das parafinas. Que mudança qualitativa pode produzir o acréscimo quantitativo de $C_3 H_6$? A experiência nos ensina, quando consumimos álcool etílico ($C_2 H_6 O$) sob qualquer forma aceitável, sem mistura de outros álcoois e quando, outra vez, tomamos o mesmo álcool etílico mas com um pequeno acréscimo de álcool amílico ($C_5 H_{12} O$), que constitui o principal componente do *infame fuel oil*. Na manhã seguinte, nossa cabeça o percebe, com toda a segurança e para seu prejuízo, de modo que até se poderia dizer que a bebedeira e seu estado subsequente *representam* a quantidade transformada em qualidade; por um lado, de álcool etílico e, por outro, das moléculas de álcool amílico, acrescidos a esse $C_3 H_6$.

Nessas séries, a lei hegeliana se nos apresenta também sob outra forma. Os primeiros termos admitem uma só posição oposta dos átomos. Mas, se a quantidade dos átomos unidos numa célula alcança um tamanho determinado para cada série, então o agrupamento dos átomos pode realizar-se de diversas maneiras na molécula; podem aparecer, assim, dois ou mais corpos isômeros que possuem igual quantidade de átomos C, H e O em sua molécula, mas são qualitativamente diferentes. Podemos até calcular quantas isomerias são possíveis para cada termo da série. Assim, na série de hidrocarbonetos $C_4 H_{10}$, são possíveis duas; para $C_5 H_{12}$, três; para os graus mais elevados, cresce muito rapidamente o número de isômeros. É assim, outra vez, o número quantitativo de átomos na molécula, o que determina a possibilidade teórica e, na medida em que ela se verifica, também a existência real desses corpos isômeros

qualitativamente diferentes.

Há ainda mais. Da analogia dos corpos que nos são conhecidos, nessas séries, podemos tirar conclusões sobre as propriedades físicas dos termos ainda desconhecidos e estabelecer, com grande exatidão, (pelo menos para os termos mais próximos dos conhecidos) suas qualidades, tal como seu ponto de ebulição etc.

Finalmente: a lei hegeliana é válida não só para os corpos compostos, como também para os próprios elementos químicos. Sabemos agora "que as propriedades químicas dos elementos são uma função periódica dos pesos atômicos" (Roscoe-Schorlemmer, *Ausführliches Lehrbuch der Chemie*, t. 11, pág. 823). Por conseguinte, sua qualidade é determinada pela quantidade de seu peso atômico. A respectiva demonstração foi feita brilhantemente. Mendelejeff demonstrou que, nas séries dos corpos simples aparentados, ordenados por seus pesos atômicos, encontram-se diferentes lacunas, indicando que, nelas, estão faltando outros elementos a serem descobertos. Um desses elementos desconhecidos, que Mendelejeff denominou eka-alumínio (porque continua a série que começa com o alumínio), foi por ele descrito antecipadamente em suas propriedades químicas gerais, sendo previsto aproximadamente seu peso específico bem como seu peso e volume atômicos. Poucos anos depois, Lecoq de Boisbaudran (Paul Emile, 1838-1912) descobriu esse elemento, confirmando as previsões de Mendelejeff, com ligeiras diferenças. O eka-alumínio era, na realidade, o gálio (ibid., pág. 828). Tendo empregado - inconscientemente - a lei hegeliana da transformação da quantidade em qualidade, havia realizado Mendelejeff uma façanha científica que se pode colocar, decididamente, ao lado do cálculo feito por Leverrier da órbita do planeta Netuno, naquela época desconhecido.

Na biologia, da mesma forma que na história da sociedade humana, a referida lei é demonstrada a cada passo; mas desejamos apoiar-nos, neste ponto, em exemplos tirados das ciências exatas, dado que nelas as quantidades são exatamente mensuráveis e podem ser seguidas.

Provavelmente, os mesmos senhores que, até agora, têm vociferado contra a transformação da quantidade em qualidade, classificando-a de misticismo e transcendentalismo incompreensível, declaração que essa lei é uma coisa evidente, trivial, sem importância; que a tem usado desde algum tempo, de sorte que nada de novo se lhes está ensinando. Mas o fato é que haver formulado, pela primeira vez, uma lei geral aplicável ao desenvolvimento da Natureza, da sociedade e do pensamento, segundo uma forma válida para todos os casos, constitui, sem dúvida, uma façanha de transcendência histórica mundial; e esses senhores estiveram transformando, desde alguns anos, a quantidade em qualidade, sem saber o que faziam; deverão consolar-se com Monsieur Jourdain, de Molière, que também, durante toda a

sua vida, havia feito prosa sem jamais ter suspeitado.

NOTAS

(1) - Esta parte foi provavelmente escrita em data posterior à primeira. Emprega o termo *energia* para superar conceitualmente os termos *força e movimento*, quando estes medem capacidade para executar trabalho. (*N de Haldane*)

(2) - Diz-se que numa substância e *alotrópica*, quando suas moléculas ou átomos estão dispostos de forma diferente, constituindo substâncias com propriedades distintas. Assim, o diamante e o *grafito* são formas alotrópicas do carbono. O fato de terem diferentes conteúdos energéticos foi previsto por Engels, mas somente comprovado depois de sua morte. (*N. de Haldane*)

(3) - A opinião de Engels foi inteiramente confirmada por meio de medições muito cuidadosas. (*N. de Haldane*)

(4) - Neste ponto, como acontece freqüentemente, Engels avançou muito além de seu tempo. Há cinquenta anos era evidente que o ponto de fusão de uma substância era um ponto nodal. Agora, porém, sabemos que também a sua cor representa uma série de pontos nodais. Ao aumentar a freqüência do vermelho ao violeta, tem-se uma série de freqüências capazes de pôr em rotação ou vibração as moléculas, de um modo particular. A luz dessas freqüências é por conseguinte, absorvida. E a cor de uma substância é simplesmente a expressão de sua capacidade para absorver luzes de diferentes freqüências. Seria possível dar outros exemplos. (*N. de Haldane*)

(5) - Desde a época de Engels, foram obtidos muitos outros termos da série. (*N. de Haldane*)

Formas Fundamentais do Movimento

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 (1). 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. (2) E, já que a matéria se nos apresenta como uma coisa de fato, tão increável como indestrutível, daí se deduz que também o movimento é tão indestrutível como increável. 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 increável 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 um 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 atração; 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 pólos opostos; que a separação e oposição de ambos os pólos, 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 pólos. Isso seria o mesmo que se pretender, no primeiro caso, que o pólo norte e o pólo sul de um ímã se iguallassem e interpenetrassem; e, no segundo caso, a divisão de um ímã em duas partes, deixaria uma (a metade austral), sem pólo norte e a outra (a metade boreal), sem pólo sul; quando a verdade é que a sua divisão determina, imediatamente, a formação de novos pólos 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 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 453/454 de toda a quantidade de movimento que existia originariamente nele, sob a forma de repulsão. (3)

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, *Populäre Vorträge (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 pólos cujas ações não se compensassem mútua e inteiramente, não seriam exatamente pólos; 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. 16g).

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 (I), 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. (4) 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 conseqüência, 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. 189-191; *Conferência de Innsbruck*, 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*

(5) 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 começassem 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 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

(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*)

(I) - Helmholtz, em suas *Populäre Vorlesugen*, 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 Kraf.*" 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 (a), 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 Helmboltz, 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 Haldanel*)

(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*)

1 Medida do Movimento: O Trabalho

"Em compensação, tenho verificado que os conceitos fundamentais, neste terreno (isto é, "os conceitos físicos fundamentais de trabalho e de sua invariabilidade"), parece serem dificilmente compreensíveis pelas pessoas que não tenham passado pela escola da mecânica matemática (por maior empenho que ponham na tarefa e por maior que seja a sua inteligência), até mesmo possuindo um grau muito elevado de conhecimento das ciências naturais. Não se pode negar, porém, que se trata de abstrações de espécie muito particular. Tanto que sua compreensão só foi alcançada com certa dificuldade até mesmo por um espírito como o de M. Kant, segundo se infere da polêmica que manteve com Leibnitz". É isso o que diz Helmholtz (*Conferências Científicas*, 11, Prefácio).

Em vista disso, ousamos penetrar num território muito perigoso, tanto mais que não podemos conduzir o leitor "de acordo com a escola da mecânica matemática". Mas talvez seja possível que, pelo fato de se tratar de conceitos, o pensamento dialético consiga conduzir-nos, pelo menos, tão longe quanto o cálculo matemático.

Galileu descobriu a lei da queda dos corpos, segundo a qual os espaços sucessivos percorridos por um corpo, ao cair, são proporcionais aos quadrados dos tempos de queda. Mas, ao lado desse princípio, estabeleceu um outro que, como veremos, não corresponde inteiramente ao mesmo: o de que a magnitude do movimento de um corpo (isto é, seu impulso ou momento) é determinada por sua massa e por sua velocidade; de forma que, com uma massa constante, ela é proporcional à velocidade. Descartes apoiou-se neste último princípio e, do produto da massa pela velocidade de um corpo em movimento, fez a medida geral de seu movimento.

Huyghens havia já verificado que, num choque elástico, a soma dos produtos das massas pelo quadrado das velocidades é a mesma tanto antes como depois do choque; e que uma lei semelhante rege diversos outros casos de movimento de corpos unidos em um mesmo sistema.

Leibnitz foi o primeiro a advertir que a medida do movimento, estabelecida por Descartes estava em contradição com a lei da queda dos corpos. Por outro lado, não se podia negar que a lei estabelecida por Descartes era correta sob vários aspectos. Em vista disso, Leibnitz dividiu a força do movimento em mortas e vivas. As mortas eram representadas pelas *pressões* ou *tendências* dos corpos em repouso; e sua medida é igual ao produto de sua massa pela velocidade com que se moveriam se passassem do estado de repouso ao de movimento. Em contraposição, como medida da força viva (do verdadeiro movimento de um corpo), estabeleceu que seria igual ao produto de sua massa pelo quadrado de sua velocidade. Essa nova medida do movimento foi diretamente deduzida da lei que preside à queda dos corpos:

"Para levantar, a um pé de altura, um corpo que pese quatro libras - concluía Leibnitz – torna-se necessária a mesma força exigida para levantar a quatro pés um outro que pese apenas uma libra. Mas suas trajetórias são proporcionais ao quadrado da velocidade, porquanto um corpo, quando cai da altura de quatro pés, terá alcançado uma velocidade dupla daquele que caiu apenas da de um pé. Por outro lado, ao cair, os corpos adquirem a força necessária para subir à mesma altura da que caíram; de sorte que as forças são proporcionais ao quadrado da velocidade". [Heinrich Suter, 1848-1922, *Gesch. der Mathem.* (História da Matemática), II, pág. 367].

Leibnitz assinalou, além disso, que a medida mv do movimento está em contradição com a lei cartesiana da constância da quantidade de movimento, por isso que, se a primeira tem valor real, a força (isto é, a quantidade de movimento); aumenta ou diminui constantemente na Natureza. Chegou mesmo a esboçar um aparelho (1960, *Acta Eruditorum*) o qual, se a medida mv fosse correta, teria que representar um movimento contínuo, com uma constante aquisição de força, o que seria absurdo. Helmholtz voltou a empregar ultimamente, com frequência, essa mesma argumentação.

Os cartesianos protestaram energicamente, entabulando-se uma polêmica famosa, através de muitos anos, da qual participou também Kant com sua primeira obra [*Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte* (Considerações Sobre a Verdadeira Medição das Forças vivas), 1746], sem que o assunto fosse, entretanto, perfeitamente esclarecido. Os atuais matemáticos encaram depressivamente essa polêmica estéril, que se prolongou durante 40 anos, tendo dividido os matemáticos europeus em dois campos inimigos, até que d'Alembert, finalmente, em seu *Traité de dynamique* (1743) pôs um ponto final, com uma veemente repulsa, a essa *inútil disputa de palavras*, pois não era outra coisa esse longo debate (Suter, loc. cit., pág. 366).

Parece-nos, entretanto, que uma discussão não pode ser considerada como uma inútil disputa de palavras, quando sustentada por um Leibnitz contra um Descartes e quando empolgou o

espírito de um homem como Kant, que dedicou ao assunto a sua primeira obra, aliás um livro volumoso. Na realidade, como admitir-se a possibilidade de ter o movimento duas medidas contraditórias, ora proporcional à velocidade, ora ao quadrado da velocidade? Para Suter, a questão apresenta grande facilidade; diz ele que ambas as partes tinham razão e ambas estavam equivocadas: "a expressão força viva, apesar de se ter mantido até agora, *já não prevalece como medida de força*, sendo apenas uma expressão adotada para, vez por outra, designar a lei (tão importante no que se refere à mecânica) do produto da massa pela metade do quadrado da velocidade". De maneira que mv continua sendo a medida do movimento; e a força viva é apenas uma outra expressão de $1/2 mv^2$, fórmula que, segundo se diz, é muito importante para a mecânica, mas que justamente agora já não sabemos o que pode significar. Lancemos mão, entretanto, do salvador *Traité de dynamique* e examinemos mais de perto a repulsa de d'Alembert. Consta do prólogo. No texto - é dito ali - a questão já não é levada em consideração devido a "*l'inutilité parfaite dont elle est pour la mécanique* (sua absoluta inutilidade para a mecânica). Isso é inteiramente exato no que se refere à mecânica *purement calculista*, na qual, segundo a citação anterior de Suter, as designações verbais são simples expressões diferentes, nomes em vez de fórmulas algébricas, nomes com os quais nada se representa. No entanto, como pessoas tão importantes se ocuparam do assunto, ele deseja analisá-lo rapidamente no *Prólogo*. Sob a denominação de força de corpos em movimento, só se pode entender, caso pensemos com clareza, como sendo a propriedade que possuem os mesmos de vencer obstáculos ou de opor-se a eles. De maneira que a força não pode ser medida por mv , nem por mv^2 , mas sim pelos obstáculos e sua resistência.

Ora, muito bem: haveria três classes de resistências: 1) - as invencíveis, que destroem totalmente o movimento, razão pela qual não podem ser aqui consideradas; 2) - resistências que só conseguem deter o movimento por alguns instantes; 3) - resistências que só detêm o movimento pouco a pouco: é o caso do movimento retardado.

"Pois bem, toda gente concorda em que só há equilíbrio entre dois corpos, quando do produtos de suas massas por suas velocidades virtuais, isto é, pelas velocidades com as quais tendem a mover-se, são iguais de uma e de outra parte. Por conseguinte, quando há equilíbrio, o produto da massa pela velocidade ou, o que é a mesma coisa, a quantidade de movimento, pode representar a força. Toda gente concorda também em que, no movimento retardado, o número de obstáculos vencidos corresponde ao quadrado da velocidade; de sorte que um corpo que comprimiu uma mola, por exemplo, com uma certa velocidade, poderá, com uma velocidade dupla, comprimir, seja de uma só vez, seja sucessivamente, não duas mas quatro molas semelhantes à primeira, nove com velocidade tríplice e assim sucessivamente. Daí concluem os partidários das forças vivas (os leibnitzianos) que a força dos corpos que se

movem realmente é, em geral, igual ao produto da massa pelo quadrado da velocidade. No fundo, que inconveniente poderia haver no fato de a medida das forças ser diferente no caso de haver equilíbrio e no caso do movimento retardado, uma vez que, se quisermos raciocinar, com idéias claras, não se deve entender pela palavra força apenas o efeito produzido ao vencer um obstáculo ou resistência?" (*Prólogo*, págs- 19-20 da edição original).

Mas d'Alembert é suficientemente filósofo para compreender que não é possível admitir, com tamanha facilidade, a contradição existente no fato de haver uma dupla medida para uma mesma força. De maneira que, após ter repetido o que, no fundo, já dissera Leibnitz (pois o seu *equilíbrio* é a mesma coisa que as *pressões mortas* de Leibnitz), volta-se rapidamente para o lado dos cartesianos e encontra a seguinte saída: o produto mv pode também valer como medida de força, no movimento retardado,

"se, neste último caso, mede-se a força, não pela quantidade absoluta dos obstáculos, mas sim pela soma das resistências oferecidas por esses mesmos obstáculos. Porque não se pode duvidar de que a soma dessas resistências é proporcional à quantidade de movimento (mv), visto como toda gente concorda em que a quantidade de movimento que o corpo perde a cada instante é proporcional ao produto da resistência pela duração infinitamente pequena do instante; e que a soma desses produtos representa, evidentemente, a resistência total".

Essa última maneira de calcular lhe parece a mais natural "porque um obstáculo não pode ser considerado tal senão quando resiste; e, para falar com exatidão, a soma das resistências representa o obstáculo vencido; por outro lado, ao avaliar dessa maneira a força, obtém-se a vantagem de dispor de um medida comum para o equilíbrio e para o movimento retardado". Cada qual pode encará-lo como quiser; e depois de acreditar ter assim resolvido a questão, por meio de um fraco intermediário matemático (como o admite Suter), termina com observações desdenhosas sobre a confusão que reinava entre seus predecessores, sustentando a opinião de que, em virtude de suas considerações anteriores, já não era mais possível senão uma discussão metafísica muito fútil ou uma disputa ainda mais indigna, baseada em palavras.

E d'Alembert apresenta uma proposição conciliatória que pode ser reduzida ao seguinte cálculo:

Uma massa 1, com velocidade 1, comprime uma mola, na unidade de tempo; uma massa 1, com velocidade 2, comprime 4 molas mas necessita, para isso, 2 unidades de tempo, isto é, comprime apenas 2 molas, na unidade de tempo; uma massa 1, com velocidade 3, comprime 9 molas, em 2 unidades de tempo, ou sejam apenas 3, na unidade de tempo; De maneira que, se dividimos o efeito realizado pelo tempo requerido, passamos novamente de mv^2 , a mv .

Trata-se do mesmo argumento que já havia sido empregado por Catelan contra Leibnitz: é verdade que um corpo, com velocidade 2, sobe (contrariando a gravidade) a uma altura quadrupla a que subiria um outro com a velocidade 1; mas necessita, para isso, de um tempo duplo; em conseqüência, a quantidade de movimento deve ser dividida pelo tempo, sendo igual a 2 e não a 4. Curiosamente, é este também o modo de ver de Suter, que conseguiu tirar à expressão *força viva* todo o sentido lógico, deixando-lhe apenas o matemático. É natural que assim seja. Para Suter, o objetivo principal era salvar a fórmula mv , dada a sua importância como medida única do movimento; ele sacrifica logicamente mv^2 , para depois ressuscitá-la, transfigurada, no céu matemático.

No entanto, uma coisa é verdadeira: a argumentação de Catelan é uma das pontes que unem mv^2 e mv ; e, por isso, é importante.

Os mecanicistas posteriores a d'Alembert, não aceitaram, de modo algum, a repulsa por ele feita, já que seu retardo era, afinal de contas, favorável a mv como medida de movimento. Atinham-se à forma que ele havia dado à diferenciação estabelecida por Leibnitz entre forças mortas e vivas: para o estado de equilíbrio, ou seja, para a estática, prevalece mv ; para o movimento ou seja para a dinâmica, prevalece mv^2 . Mesmo quando seja correta, de um modo geral, a distinção apresentada sob essa forma, ela não tem mais sentido lógico do que a do sargento: entre dois modos (que não consigo entender) de dizer aquilo que, para mim, é uma mesma coisa; e visto como pretendem que sejam duas coisas diferentes, em serviço usarei sempre um deles; e, fora do serviço, o outro. Aceita-se, em silêncio, essa distinção: a coisa é assim, não podemos modificá-la; e, se nessa dupla medida há uma contradição, que podemos fazer?

Assim dizem, por exemplo, Thomson e Tait (*A Treatise on Natural Philosophy*, Oxford, 1867, pág. 162) : "A *quantidade de movimento* ou o *impulso* de um corpo rígido que se move, sem rotação, é proporcional à sua massa e à sua velocidade, conjuntamente. A uma dupla massa ou a uma dupla velocidade, corresponderia uma dupla quantidade de movimento". E, em seguida: "A *vis viva* ou *energia cinética* de um corpo em movimento é, ao mesmo tempo, proporcional à massa e ao quadrado da velocidade".

É dessa forma chocante que são postas, uma ao lado da outra, as duas medidas contraditórias do movimento, sem que haja a mínima tentativa para justificar a contradição ou, pelo menos, dissimulá-la. No livro desses dois escoceses, fica proibido pensar: é permitido apenas calcular. Não constitui, portanto, um milagre o fato de que um deles, pelo menos (Tait), figure entre os mais fervorosos cristãos da crente Escócia.

Nas lições de Kirchhoff, sobre mecânica matemática, as fórmulas mv e mv^2 , não aparecem sob

essa forma.

É possível que Helmholtz nos possa ajudar. Em sua obra *Conservação da Força*, propõe que a força viva seja expressa pela fórmula $1/2 mv^2$. Haveremos de voltar a este ponto. Em seguida, enumera rapidamente (Pág. 20 e ss.) os casos em que o princípio da conservação da força viva (ou seja $1/2 mv^2$) já fôra utilizado e reconhecido. Entre eles, figura sob o número 2:

"A transmissão de movimento pelos corpos sólidos e líquidos incompressíveis, sempre que não intervenha fricção ou choque de substâncias sem elasticidade. Nosso princípio geral é habitualmente expresso, para esses casos, segundo a regra de que um movimento transmitido e modificado por potências mecânicas, tem sua intensidade de força diminuída na mesma relação em que aumenta sua velocidade. Consideremos, pois, um peso m , levantado com a velocidade c , por uma máquina que produz, por qualquer processo, uma força constante de trabalho; então, por meio de outro dispositivo mecânico, pode ser levantado um outro peso n m , mas com a velocidade apenas de c/n , de modo que, em ambos os casos, a quantidade de força de tensão gerada pela máquina, na unidade de tempo, deve ser representada por $m g c$, onde g representa a intensidade da gravidade".

Verifica-se, pois, também neste caso, a contradição contida no fato de que uma *intensidade de força*, que aumenta ou diminui em simples relação com a velocidade, deve servir para demonstrar a conservação de uma intensidade de força que aumenta ou diminui segundo o quadrado da velocidade.

É verdade que mv e $1/2 mv^2$, são usados para determinar dois processos muito diferentes, mas isso já o sabíamos desde algum tempo, pois mv^2 não pode ser igual a mv , a menos que $v=1$. Trata-se de tornar compreensível a razão pela qual o movimento tem duas medidas, coisa que, na ciência, é tão inadmissível como no comércio.

Por meio de mv se mediria, portanto, "um movimento transmitido e modificado por potências mecânicas". Essa medida prevalece, pois, também para a alavanca e todas as demais formas dela resultantes: rodas, parafusos, etc., ou seja, para toda a maquinaria de transmissão. Ora bem: de uma consideração muito simples e de maneira nenhuma nova, resulta que, qualquer caso, se pode empregar indiferentemente mv ou mv^2 . Tomemos qualquer dispositivo mecânico em que a dimensão dos braços das alavancas dos dois lados esteja na relação de 4:1; na qual, portanto, o peso de 1 quilo, em um dos lados, equilibre o de 4 quilos, no outro. Por meio de um pequeno acréscimo de força a um dos braços da alavanca, podemos levantar 1 quilo à altura de 20 metros; o mesmo suplemento de força aplicado ao outro braço da alavanca, poderá levantar 4 quilos a 5 metros; e o peso predominante desce no mesmo tempo que o outro necessita para subir. As massas e as velocidades se comportam em sentido inverso: $m v$, $1 \times 20 = m' v'$, 4×5 . Deixemos agora cair livremente cada um desses pesos, depois de

levantado até o seu primitivo nível; veremos então que o de 1 quilo alcança, depois de percorrer distância de queda de 20 metros (suposta a aceleração da gravidade como sendo de 10 em vez de 9,81), uma velocidade de 20 metros por segundo; e o outro, de 4 quilos, com uma distância de queda igual a 1 metro, alcançará uma velocidade de 10 metros.

$$m v^2 = 1 \times 20 \times 20 = 400 = m^1 v^{12} = 4 \times 10 \times 10 = 400$$

Por outro lado, porém, os tempos de queda são diferentes: os 4 quilos percorrem seus 5 metros em 1 segundo e o quilograma percorre seus 20 metros em 2 segundos. A fricção e a resistência do ar foram inicialmente desprezadas.

Mas, a partir do momento em que esses dois corpos caíram de suas respectivas alturas, seu movimento cessa. Por conseguinte, $m v$ aparece aqui como medida do movimento mecânico simplesmente transmitido e portanto incessante; e $m v^2$ como medida do movimento mecânico desaparecido.

Prossigamos. No choque de corpos perfeitamente elásticos, prevalece a mesma regra: a soma dos $m v$ e a soma dos $m v^2$, antes e depois do choque, não variaram. Ambas as medidas valem a mesma coisa.

Tal não se dá, porém, no choque de corpos inelásticos. A esse respeito, os manuais elementares ensinam (a mecânica superior já não se ocupa quase de semelhantes bagatelas) que a soma dos $m v$ é a mesma antes e depois do choque. Em compensação, verifica-se uma perda de força viva, porque, se testarmos a soma dos $m v^2$ *depois* do choque e a soma dos mesmos *antes* do choque, resta em todos os casos um resíduo positivo. A força viva terá sido diminuída dessa quantidade (ou de sua metade, conforme o modo de ver) pela penetração recíproca e pela mudança de forma dos corpos entrechocados. Esta última afirmação é clara e salta à vista. Não acontece o mesmo com respeito à primeira: a de que a soma dos $m v$ continua sendo a mesma antes e depois do choque. A força viva é movimento, apesar de Suter; e se perdermos uma parte de força viva, perde-se movimento. Por conseguinte, ou $m v$ expressa, neste caso inexatamente, a quantidade de movimento; ou então, a afirmação anterior é falsa. Além do mais, toda essa proposição nos vem de um tempo em que não se tinha a menor idéia da transformação do movimento; no qual, portanto, só se admitia o desaparecimento do movimento mecânico, quando não restava outro recurso. Assim é que se procura demonstrar a igualdade dos $m v$ antes e depois do choque, eliminando qualquer perda ou ganho em relação aos mesmos. Mas, se os corpos cedem força viva em virtude da fricção interna correspondente à sua falta de elasticidade, também cedem movimento; e assim, a soma dos $m v$ tem que ser, depois do choque, menor que antes. Não é admissível que se despreze a

fricção interna, ao calcular os $m v$, quando a levamos em consideração, com tanta clareza, ao calcular os $m v^2$.

Mas isso não muda em nada a situação. Mesmo no caso de admitirmos a proposição e calcularmos a velocidade depois da queda (na suposição de que a soma dos $m v$ manteve-se igual), mesmo nesse caso encontraremos aquela diminuição quando somamos os $m v^2$. De sorte que $m v$ e $m v^2$ entram em conflito, devido à diferença de movimento mecânico desaparecido. E o próprio cálculo demonstra que a soma dos $m v^2$ expressa corretamente a quantidade de movimento e que a soma dos $m v$ a expressa incorretamente.

Esses são, aproximadamente, todos os casos em que a fórmula $m v$ é usada em mecânica. Examinemos agora alguns casos em que é usada $m v^2$.

Quando é disparado um projétil de canhão, na sua trajetória absorve uma quantidade de movimento que é proporcional a $m v^2$, tanto no caso de chocar-se com um alvo sólido, como no de atingir o repouso (seja devido à resistência atmosférica, seja devido à gravidade). Quando um trem em marcha se choca contra outro que está parado, a violência com que se verifica o fato e a correspondente destruição resultante, são proporcionais ao seu $m v^2$. Da mesma forma, prevalece $m v^2$ no cálculo de qualquer força mecânica necessária para vencer uma resistência.

Que significa, entretanto, esse cômodo modo de dizer, tão corrente entre os mecanicistas: vencer uma resistência?

Se, levantando um peso, vencemos a resistência da gravidade, é preciso notar que, ao fazê-lo, desaparece uma certa quantidade de movimento, uma quantidade de força mecânica igual à que pode ser gerada novamente pela queda direta ou indireta desse peso desde a altura a que foi levantado até seu nível anterior. Essa quantidade é medida multiplicando-se a metade de sua massa pelo quadrado da velocidade alcançada durante a queda, ou seja: $1/2 m v^2$. Que teria ocorrido ao levantar-se o peso? O movimento mecânico ou força terá desaparecido como tal. Mas, em verdade, não ficou reduzido a nada: foi transformado em força mecânica de tensão (para empregar a expressão de Helmholtz); em energia potencial, como dizem os mais modernos; em *geral*, como denomina Clausius. E esta pode ser transformada, a qualquer momento e por qualquer processo mecânico possível, na mesma quantidade de movimento mecânico que foi necessário para gerá-la. A energia potencial é apenas a expressão negativa da força viva e vice-versa.

Uma bala de canhão de 24 libras, com uma velocidade de 400 metros por segundo, choca-se contra a couraça (de um metro de espessura) de um encouraçado; e, em tais circunstâncias, não tem nenhuma ação visível sobre o barco. Terá desaparecido, assim, um movimento mecânico que era igual a $1/2 m v^2$. Ou seja, considerando que as 24 libras alemãs equivalem a

12 quilos, um movimento igual a: $12 \times 400 \times 400 \times \frac{1}{2} = 960.000$ quilogrâmetros. Que terá sido feito deles? Uma pequena parte, foi consumida em sacudir a couraça e modificar sua estrutura molecular, outra parte, em arrebentar a bala em inumeráveis fragmentos; mas a maior parte, foi transformada em calor, tendo enriquecido a bala até a incandescência. Quando os prussianos, em 1864, ao passar por Alsen, puseram em ação suas baterias pesadas contra o encouraçado Rolf Krake, viram, a cada impacto, brilhar o projétil incandescente dentro da escuridão; e Withworth, antes disso, havia já demonstrado que os projeteis explosivos não precisam de fulminantes quando usados contra couraças de ferro: o metal incandescente, por si mesmo, inflama a carga explosiva. Considerando o equivalente mecânico da unidade de calor como correspondendo a 424 quilogrâmetros, a já citada quantidade de movimento mecânico corresponde a 2.264 unidades. O calor específico do ferro é igual a 0,1140, isto é, corresponde à mesma quantidade de calor que eleva de 1°C a temperatura da água (medida adotada como unidade de calor). Ela é suficiente para elevar de 1°C a temperatura de 1 quilo de ferro a $8.772 \times 2.264 = 19.860^\circ$, ou então, 19.860 quilos de ferro à temperatura de 1° . Considerando que essa quantidade de calor é repartida, em partes iguais, entre a couraça e o projétil, deve a mesma ser calculada à razão de $19.860 / 2 \times 12 = 828^\circ$, donde resulta um ótimo poder de incandescência. Mas, como a parte dianteira do projétil, aquela que sofre diretamente o choque, deve receber uma porção muito maior de aquecimento (provavelmente o dobro da que recebe a parte posterior), a primeira seria aquecida a uma temperatura de 1.104° e a segunda a 552° apenas, o que é suficiente para explicar perfeitamente o efeito luminoso da incandescência, apesar de haver uma forte redução em virtude do trabalho mecânico efetivo realizado pelo choque.

Em conseqüência da fricção desaparece também o movimento mecânico, que reaparece depois como calor. Por meio da medição mais exata possível de ambos esses processos, conseguiram Joule (James Prescott, 1818-1889), em Manchester e, logo depois, Colding, em Copenhage, determinar experimentalmente, com uma certa aproximação, o equivalente mecânico do calor.

A mesma coisa se verifica ao ser produzida uma corrente elétrica, em uma máquina eletromagnética, por meio de força mecânica (por exemplo, uma máquina a vapor). A quantidade da chamada força eletromotriz (1), gerada em um determinado tempo é proporcional e (caso expressa pela mesma medida) equivalente à quantidade de movimento mecânico consumida nesse mesmo tempo. Podemos compará-la com a que é gerada pela queda de um peso, em virtude da atração da gravidade. A força mecânica que essa queda pode produzir é medida pela força viva que receberia se caísse livremente desde uma certa altura, ou pela força necessária para levantá-lo à altura primitiva. Em ambos os casos, a medida seria

$$1/2 m v^2.$$

Assim é que, na realidade, verifica-se que o movimento tem uma dupla medida; mas, também, que cada uma dessas medidas é aplicada a uma determinada e delimitada série de fenômenos. Quando um movimento mecânico, já existente, é transmitido de tal maneira que é conservado como movimento mecânico, o mesmo se transmite segundo a relação do produto da massa pela sua velocidade. Mas se o movimento mecânico é transmitido sob uma forma tal que desaparece na qualidade de movimento para reaparecer sob a forma de energia potencial, calor, eletricidade, etc.; numa palavra, se é convertido em outra forma de movimento, então a quantidade dessa nova forma de movimento será proporcional ao produto da massa, originariamente móvel, pelo quadrado de sua velocidade. Em poucas palavras: $m v$ é movimento mecânico, medido em movimento mecânico; $1/2 m v^2$ é movimento mecânico medido segundo sua capacidade para transformar-se em uma determinada quantidade de outro movimento; e vimos já que ambas essas medidas não entram em contradição apesar de serem diferentes.

Daí resulta que a polêmica entre Leibnitz e os cartesianos não era, de forma alguma, uma simples disputa em torno de palavras; e que a desaprovação de d'Alembert podia ter evitado suas tiradas sobre a falta de clareza de seus predecessores, visto como acabou sendo tão pouco claro quanto eles. Na realidade, enquanto não se conseguiu saber o que era feito do movimento aparentemente aniquilado, era inevitável que se permanecesse na obscuridade. E enquanto matemáticos mecanicistas como Suter se mantivessem tenazmente encerrados entre as quatro paredes de sua ciência especial, permaneceriam na mesma obscuridade que d'Alembert e teriam que alimentar-nos com frases vazias e contraditórias.

Mas como explica a mecânica moderna essa transformação do movimento que lhe é proporcional em quantidade? Diz-se agora que *terá realizado* um trabalho, isto é, determinada quantidade de trabalho.

Mas o conceito de trabalho, no sentido físico, não fica, com essa afirmação, perfeitamente esclarecido. Quando, como na máquina a vapor (ou térmica), o calor é transformado em movimento mecânico, ou seja, quando um movimento molecular é transformado em movimento de massas; quando o calor decompõe uma combinação química ou quando se transforma em eletricidade, por meio da pilha termoelétrica; quando uma corrente elétrica separa os elementos da água, do ácido diluído, ou inversamente, quando o movimento posto em liberdade (aliás energia), numa pilha, toma a forma de eletricidade e esta, por sua vez, ao fechar seu circuito, se converte em calor - em todos esses processos - a forma de movimento que eles iniciam, ou que é por eles transformada em outra, realiza um trabalho; e num montante correspondente, à sua própria quantidade.

O trabalho é, assim, uma simples mudança de forma do movimento, considerado sob seu aspecto quantitativo. Mas, como? Quando um peso levantado se mantém em repouso (em cima), sua energia potencial, durante o repouso, será também uma forma de movimento? É de supor. Até mesmo Tait chegou à convicção de que a energia potencial se pode transformar, em seguida, numa forma de movimento real (2) (*Nature*, XIV, 459). Além disso, Kirchhoff vai muito mais longe quando diz: "O repouso é um caso particular de movimento (*Math. Mech.* pág. 32). Com isso, demonstra ele que, não somente sabe calcular, como também pensar dialeticamente.

O conceito de trabalho, que antes fora considerado como dificilmente compreensível sem mecânica matemática, nos foi sumariamente apresentando depois de um simples exame das duas medidas do movimento mecânico. Em todo o caso, sabemos agora muito mais a esse respeito do que aquilo que aprendemos através da conferência de Helmholtz (*Sobre a Conservação da Força*, 1862), na qual nos é proposto exatamente "esclarecer, tanto quanto possível, os conceitos físicos fundamentais sobre o trabalho e sua variabilidade". Tudo o que nela aprendemos a respeito de trabalho é que se trata de algo que se traduz em pés-libra ou em unidades calóricas; e que o número desses pés-libra ou unidades calóricas é invariável para uma determinada quantidade de trabalho. Mais ainda: que, além da força mecânica e do calor, também as forças químicas e elétricas podem realizar trabalho; mas todas essas forças esgotam sua capacidade de trabalho na medida em que produzem trabalho real. E que se deduz daí? Que a soma das quantidades de forças capazes de atuar no conjunto da Natureza permanece eterna e invariavelmente a mesma. O conceito de trabalho não é desenvolvido, nem tampouco definido (I). E é precisamente a invariabilidade quantitativa da soma de trabalho aquilo que o impede de compreender que mudança qualitativa, a mudança de forma, é condição fundamental de todo trabalho físico. Assim é que Helmholtz se pode permitir a seguinte afirmação: "A fricção e o choque inelástico são processos nos quais é *destruído trabalho mecânico*, dando em resultado a produção de calor" (*Popul. Vorträge*, II, pág. 166). Justamente o contrário. No caso, não é *destruído* trabalho mecânico, mas sim *efetuado* trabalho mecânico. Aquilo que *aparentemente* é destruído é o *movimento* mecânico. Mas o movimento não pode jamais realizar trabalho, nem que seja um milionésimo de quilogrâmetro, sem ser aparentemente destruído como tal, isto é, sem converter noutra forma de movimento.

Está muito bem: a capacidade de trabalho contida em determinada quantidade de movimento mecânico, significa, conforme já vimos, sua força já viva que era, até bem pouco, medida por $m v^2$. Mas, neste ponto, surgiu uma nova contradição. Ouçamos Helmholtz (*Erhaltung der Kraft*. pág. 9). Ali diz ele que a quantidade de trabalho pode ser expressa por meio de um peso

m , levantado a uma altura h e pela gravidade, simbolizada por g , em virtude do que a quantidade de trabalho será igual a $m g h$. Para subir verticalmente à altura h , m necessita uma velocidade $v = \sqrt{2 g h}$, voltando a alcançar essa mesma velocidade ao cair. Assim sendo, $m g h = \frac{1}{2} m v^2$. E Helmholtz propõe, então, designar diretamente $\frac{1}{2} m v^2$ como quantidade de força viva, tornando-se, assim, idêntica à medida da soma de trabalho. Para o uso feito até agora do conceito de força viva... essa mudança carece de importância, enquanto que nos proporcionará, mais adiante, vantagens consideráveis".

É quase incrível. Helmholtz via, em 1847, com tão pouca clareza a relação recíproca entre força viva e trabalho, que nem sequer notou que convertia a medida por ele antes reconhecida como proporcional à força viva, em medida absoluta; que não se apercebeu de quão importante era o descobrimento que havia feito com seu audaz golpe de mão e recomenda a fórmula $\frac{1}{2} m v^2$, apenas por considerações de comodidade relativamente a $m v^2$. E, por comodidade, deixaram também os mecanicistas que se consagrasse essa fórmula, que só gradualmente foi também demonstrada pela matemática. A esse respeito, existe um desenvolvimento algébrico em Naumann (*Allgemeine Chemie*, pág. 7) e um analítico em Clausius (*Mechanische Warmetheorie*, 2ª ed., I, pág.18), sendo em seguida deduzida e desenvolvida de outra maneira por Kirchhoff (Obra citada, pág. 27).

Uma ótima dedução algébrica de $\frac{1}{2} m v^2$; a partir de $m v$, é feita por Clerk Maxwell (Obra cit. pág. 88). O que não impediu os nossos dois escoceses, Tait e Thomson, de dizerem o seguinte (Obra cit. pág.163): "A *vis viva* ou energia cinética de um corpo em movimento é proporcional, ao mesmo tempo, à massa e ao quadrado da velocidade. Se adotarmos as mesmas unidades de massa antes adotadas (ou seja, unidade de massa que se move com unidade de velocidade), há *uma particular vantagem* em definir a energia cinética como sendo a metade do produto da massa pelo quadrado da velocidade". No que se refere, portanto, aos dois primeiros mecanicistas da Escócia, não só ficou detido o pensamento, como também a faculdade de calcular. A *vantagem particular*, a facilidade no manejo da fórmula, resolve tudo mais esplendidamente.

Para nós, os que vimos que a força viva não é outra coisa que a capacidade que possui uma certa quantidade de movimento mecânico de realizar trabalho, para nós outros é evidente que a expressão da medida mecânica da capacidade de trabalho (bem como a do trabalho efetivamente realizado) , têm que ser iguais entre si; por conseguinte, se $\frac{1}{2} m v^2$ mede o trabalho, a força viva deve ser igualmente medida pela mesma fórmula. Assim acontece na ciência. A mecânica estabelece o conceito de força viva, a prática dos engenheiros, o de trabalho, sendo este imposto aos teóricos (3). E, à força de calcular, nos acostumamos de tal maneira de pensar, que durante anos não se reconheceu a correlação entre uma e outro,

medindo-se uma segundo $m v^2$, ao outro segundo $1/2 m v$, e aceitando-se finalmente esta última fórmula para ambos, não por have-la compreendido, mas pela simplicidade do cálculo (II).

NOTAS

(Medida do Movimento: Trabalho)

(1) - O termo *força eletromotriz* usa-se agora num sentido muito mais restrito do que há cinqüenta anos. É a quantidade que se mede em volts. A quantidade equivalente à energia mecânica é por certo a energia elétrica medida em quilowats/hora. Esses termos se definiram como medida exatamente depois que a energia elétrica se converteu em mercadoria.

(2) - Na teoria geral da relatividade, de Einstein, o espaço tempo é formado por um campo gravitante e, em conseqüência, a relação entre dois corpos separados por um campo gravitante é do mesmo caráter que teriam se estivessem em movimento relativo - Nesse sentido, pode-se dizer que a energia potencial se transforma em movimento. (*N. de Haldane*)

(I) - Não conseguiremos progredir se consultarmos Clark Maxwell. Eis o que diz ele (*Theory of Heat*, 4ª ed., Londres, 1875), pág. 87): "Realiza-se trabalho sempre que é vencida uma resistência". e na pág. 183: "A energia de um corpo é a sua capacidade para realizar trabalho". Isso é tudo quando ali encontramos a respeito do assunto. (*N. de Engels*)

(3) - O termo *vis viva* (força viva, medida por $m v^2$) desapareceu completamente da mecânica teórica, tal como pensava Engels ser necessário. Presentemente, a maior parte das pessoas pode pensar em termos de energia, não em virtude de nenhum progresso teórico, mas sim porque se trata de uma mercadoria. Compramo-la hoje sob a forma de B.T U., calorias, quilowats-hora e outras medidas; e, por conseguinte, somos forçados a pensar nela de maneira concreta. (*N. de Haldane*)

(II) - A palavra trabalho e sua correspondente idéia são criação dos engenheiros ingleses. Mas, em inglês, o trabalho prático se denomina *work* e o trabalho em sentido econômico, *labour*. Por conseguinte, o trabalho físico se denomina também *work*, excluída qualquer confusão com o trabalho no sentido econômico. Em alemão (e em espanhol) não se verifica a mesma coisa; em conseqüência, na recente literatura pseudocientífica, tomou-se possível fazer diversas aplicações peculiares ao trabalho, no sentido físico, às condições econômicas do trabalho e vice-versa. Mas nós outros (os alemães) temos também a palavra *Werk* que, como a palavra inglesa *work*, se adapta esplendidamente à designação do trabalho físico. Mas, como a economia está demasiado afastada dos nossos investigadores da Natureza, dificilmente se decidirão estes a introduzir essa palavra para substituir *Arbeit*, que já se tornou corrente; a menos que o façam quando for demasiado tarde. Somente Claudius tentou conservar...

conservar a palavra *Werk* ao lado de sua semelhante *Arbeit*. (*N. de Engels*)

1.1 O Calor

Como já tivemos ocasião de ver, há duas formas sob as quais desaparece o movimento mecânico, a força viva. A primeira consiste na sua transformação em energia mecânica potencial, como por exemplo, quando levantamos um peso. Esta forma apresenta a particularidade de que, não só é conversível em movimento mecânico (e exatamente em movimento mecânico com a mesma força viva do primeiro) como também o fato de que só é capaz dessa mudança de forma. A energia mecânica potencial não pode jamais gerar calor ou eletricidade, a menos que se transforme, antes, em movimento mecânico efetivo. Trata-se, empregando-se uma expressão de Clausius, de um processo reversível.

A segunda forma de desaparecimento do movimento mecânico se verifica por fricção e por choque (ambas diferem apenas quanto ao grau). A fricção pode ser concebida como uma série de pequenos choques sucessivos e centrífugos; o choque, como uma fricção concentrada, num só momento e num só lugar. A fricção é um choque crônico; o choque, uma fricção aguda. O movimento, desaparecido neste caso, desaparece como tal. Não pode ser restabelecido por si mesmo. O processo não é diretamente reversível. Convertem-se em formas de movimento qualitativamente diferentes, em calor, em eletricidade; em formas de movimento molecular.

A fricção e o choque conduzem, assim, do movimento de massa, objeto da mecânica, ao movimento molecular, objeto da física.

Se designamos a física como mecânica do movimento molecular, não perdemos de vista, por essa razão, que essa expressão não abarca todo o domínio da física atual. Pelo contrário. As vibrações do éter, que transmitem os fenômenos da luz e do calor radiante, não são certamente movimentos moleculares no sentido real da palavra. Mas seus efeitos terrestres dizem respeito, antes de tudo, à molécula: a refração e a polarização da luz, etc. são condicionadas pela constituição molecular dos corpos em questão. Da mesma forma, a eletricidade é considerada, por quase todos os investigadores mais importantes (1), como um movimento das partículas do éter. E a respeito do calor, Clausius chega mesmo a dizer que "no

movimento dos átomos ponderáveis (em cujo lugar seria talvez melhor colocar a molécula) ... também pode tomar parte o éter existente nos próprios corpos" (2) (*Mechanische Wärmetheorie*, I, pág. 22). Também nos fenômenos elétricos e térmicos, devem ser considerados, em primeiro lugar, os movimentos moleculares, já que não pode ser de outra maneira, enquanto saibamos tão pouco sobre o éter. Mas, quando conseguirmos formular devidamente a mecânica do éter, ela compreenderá várias questões que hoje, forçadamente, fazem parte da física (3).

Dos processos físicos em que a estrutura das moléculas é modificada, trataremos mais adiante. Constituem a transição do campo da física para o da química.

Como consequência do movimento molecular, adquiriu plena liberdade a mudança de forma do movimento. Enquanto que o movimento de massa, nos limites da mecânica, só pode assumir reduzidas formas (calor ou eletricidade), encontramos, neste caso, uma vivacidade muito maior no que refere à mudança de formas: o calor, por meio da pilha termoelétrica, se converte em eletricidade; em determinado grau de radiação, se identifica com a luz (4) e pode gerar movimento mecânico. A eletricidade e o magnetismo, constituindo um par fraterno, tal como o calor e a luz, convertem-se não somente entre si, mas também em calor, em luz e em movimento mecânico. E tudo isso se passa segundo relações quantitativas tão precisas, que podemos representar uma dada quantidade de cada um, em qualquer outra: em quilogramas, em unidades de calor, em volts (5); e, de igual modo, reduzir cada uma das medidas em qualquer das outras.

A verificação prática da transformação do movimento mecânico em calor é coisa tão antiga que, a partir da mesma, se poderia estabelecer o começo da história da humanidade (6). Sejam quais forem as invenções de ferramentas, bem como a domesticação de animais que a tenham precedido (7), o fogo por meio da fricção foi o processo pelo qual os homens, pela primeira vez, puseram a seu serviço uma força natural inanimada. E a maneira como ficou gravado em seu sentimento, a transcendência quase incomensurável desse avanço gigantesco, encontramos ainda hoje na superstição popular. A invenção da faca de pedra, o primeiro utensílio humano, era ainda celebrada longo tempo depois da descoberta do bronze e do ferro, realizando-se todos os sacrifícios religiosos com facas de pedra. Segundo a lenda judaica, Josué fazia circuncidar com uma faca de pedra os homens nascidos no deserto; os celtas e os germanos só usavam facas de pedra para seus sacrifícios humanos. Tudo isso está esquecido, desde muito tempo. A mesma coisa aconteceu com o fogo por fricção. Muito tempo depois de conhecer outras maneiras de produção do fogo, todas as fogueiras sagradas da grande maioria dos povos deveriam ser acendidas por meio de fricção. E, até os dias de hoje, a superstição popular, na maioria dos povos europeus, acredita em que um fogo capaz de produzir efeitos

mágicos (por ex., o nosso *Notfeuer* alemão) só pode ser acendido por meio de fricção. De maneira que, até os dias de hoje, sobrevive, na superstição popular, na recordação profano-religiosa dos povos mais cultos do mundo - sob uma forma meio inconsciente -, a lembrança agradecida da primeira grande vitória do homem sobre a Natureza.

Entretanto, no fogo por fricção, o processo é unilateral. O movimento mecânico é transformado em calor. Para ser completo, torna-se necessário que o processo possa inverter-se: deve ser possível transformar o calor em movimento mecânico. Somente então fica completa a dialética do processo e encerrado seu ciclo, pelo menos por enquanto. Mas a história tem sua marcha peculiar e, muito embora se desenvolva dialeticamente, a dialética precisa, com freqüência, esperar a evolução da história. Mede-se em milênios o tempo transcorrido desde que foi descoberto o fogo por fricção até que Heron de Alexandria (por volta do ano 120 A. C.) inventou uma máquina que era posta em movimento giratório por meio do vapor de água emitido por ela. E transcorreram novamente quase dois mil anos até que fosse construída a primeira máquina a vapor, o primeiro dispositivo capaz de transformar o calor em movimento mecânico realmente utilizável.

A máquina a vapor foi a primeira invenção verdadeiramente internacional; e esse fato é, por sua vez, testemunho de um progresso histórico formidável. Foi ela inventada pelo francês Papin (Denis, 1647-1714), tendo ele conseguido realizar seu feito na Alemanha. O alemão Leibnitz, semeando como sempre idéias geniais ao seu redor, sem levar em conta se daí poderia provir algum proveito para ele ou para outros; Leibnitz, como se sabe agora através da correspondência de Papin (editada por Gerland), deu-lhe a idéia fundamental: o emprego de cilindros e pistões. Os ingleses Savery (Thomas, ca. 1650-1715) e Newcomen (Thomas, 1663-1729) inventaram, pouco depois, máquinas parecidas; e seu compatriota Watt (James, 1736-1819), finalmente, ao inventar *o condensador separado*, permitiu que a máquina a vapor chegasse, na prática, à sua situação atual (8). O ciclo dos inventos, nesse terreno, ficava assim completo: havia-se conseguido a transformação do calor em movimento mecânico. O que veio depois foram apenas aperfeiçoamentos de detalhe.

Assim foi que a prática resolvera, à sua maneira, o problema das relações entre o movimento mecânico e o calor. Em princípio, havia conseguido transformar o primeiro no segundo e, logo depois, o segundo no primeiro. Mas a teoria, como andava ela?

De maneira lastimável. Muito embora, justamente nos séculos XVII e XVIII, através de inumeráveis narrações de viagens se multiplicassem as referências a povos selvagens que desconheciam outra maneira de produzir fogo a não ser por meio da fricção, isso quase passou despercebido aos físicos; assim, também, lhes foi indiferente a máquina a vapor durante todo o século XVIII e as primeiras décadas do XIX. Contentavam-se eles quase unicamente com

registrar os fatos.

Finalmente, por volta de 1820, Sadi Carnot inteirou-se do assunto e, certamente, de maneira muito hábil, tanto que os seus cálculos, interpretados depois, de maneira geométrica, por Clapeyron, são hoje utilizados por Classius e Clerk Maxwell, tendo chegado quase ao fundo da questão. O que o impediu de esclarecê-la inteiramente não foi a escassez de material experimental: foi exclusivamente uma *teoria falsa* adotada *a priori*; uma teoria falsa que não fora imposta aos físicos por uma filosofia maligna, mas que eles mesmos, com seu modo de pensar naturalista, muito superior ao metafísico-filosofante, haviam extraído de seu próprio cérebro.

No século XVII considerava-se o calor, pelo menos na Inglaterra, como uma propriedade dos corpos; como "um *movimento* de caráter especial, cuja natureza nunca foi explicada satisfatoriamente". Assim o considerava Th. Thomson, dois anos antes do estabelecimento da teoria mecânica do calor (*Outline of the Sciences of Heat and Eletricity*, 2ª ed., Londres, 1840). Mas, no século XVIII, passou a ocupar progressivamente o primeiro lugar a concepção de que o calor, como também a luz, a eletricidade e o magnetismo, são substâncias especiais e que todas elas se distinguem do que denominamos matérias pelo fato de não terem peso, isto é, por serem imponderáveis.

NOTAS

(CaIor)

(1) - Nessa época, predominavam as idéias de Faraday e Maxwell e os físicos se inclinavam a considerar a eletricidade como situada fundamentalmente no campo existente entre corpos carregados. (*N. de Haldane*)

(2) - Um corpo, a qualquer temperatura, encontra-se em equilíbrio com uma radiação de certa densidade, se bem que uma pequeníssima parte da energia contida em um volume dado está no éter, isto é, sob a forma de radiação, a temperaturas comuns. (*N. de Haldane*)

(3) - Isso foi verificado no sentido de que, para a física moderna, as propriedades das partículas podem ser consideradas essencialmente como atrações e repulsões no espaço que as rodeia, o qual está também cheio de radiação. Por outro lado, a idéia de éter se tornou tão cheia de contradições internas que essa palavra é pouco usada atualmente. (*N. de Haldane*)

(4) - Como vimos, parte do calor de um corpo aquecido toma a forma de radiação. Quando um corpo é aquecido até atingir a cor vermelha, toma-se visível (ed. luz) (*N. de Haldane*)

(5) - Este é, evidentemente, um erro. O volt não é uma unidade de energia. (*N. de Haldane*)

(6) - Inclusive o *Sinanthropus*, tipo de homem fisicamente muito diferente de nós, conhecia o

fogo, muito embora não saibamos ao certo como o produzia. (*N. de Haldane*)

(7) - O uso do fogo precedeu imensamente a domesticação de animais.

(8) - A turbina foi inventada logo depois em 1884. (*N. de Haldane*)

A eletricidade (I)

Como o calor, apenas de outra maneira, a eletricidade possui também uma certa ubiquidade. Quase nenhuma transformação se pode dar, na terra, sem que se verifiquem fenômenos elétricos. Evapora-se a água, arde uma chama, entram em contato dois metais diferentes ou a diferentes temperaturas, ou então o ferro e o ácido sulfúrico diluído, etc.; com esses fenômenos físicos ou químicos mais evidentes, verificam-se, simultânea e paralelamente, processos elétricos. Quanto mais cuidadosamente investigamos os processos naturais, tanto mais encontramos vestígios de eletricidade. Mas apesar dessa ubiquidade que lhe é própria, apesar de que a eletricidade, desde há meio século, seja cada vez mais submetida ao serviço do homem, ela é precisamente a forma de movimento sobre cuja natureza reina a maior obscuridade. A descoberta da corrente galvânica é apenas 25 anos anterior à do oxigênio; e significa para o estudo da eletricidade, pelo menos, o mesmo que este para a química. E, no entanto, que diferença existe ainda entre esses dois domínios! Na química, graças principalmente à descoberta dos pesos atômicos, realizada por Dalton, existe ordem, relativa segurança quanto ao já conseguido, ataque sistemático ao terreno ainda não conquistado, uma ação semelhante ao sítio regular de uma fortaleza. No estudo da eletricidade impera uma confusa miscelânea de velhas experiências, idéias nem definitivamente confirmadas, nem definitivamente reprovadas, um inseguro tatear na obscuridade, um investigar e experimentar descoordenado, de muitos homens isolados, que atacam um território desconhecido, dispersamente, como um bando de cavalos selvagens. Mas é verdade que falta ainda, no domínio da eletricidade, realizar uma descoberta como a de Dalton, que forneça à ciência, em seu conjunto, um ponto central de apoio e à investigação uma base mais firme. É principalmente essa situação de abandono do estudo da eletricidade, o que torna impossível, nesse período, a delineação de uma teoria geral; situação que dá origem, nesse terreno, ao domínio do empirismo unilateral, esse empirismo que, tanto quanto possível, proíbe-se a si mesmo de pensar e que, justamente por isso, não só pensa falsamente, como também não se coloca em condições de acompanhar fielmente os fatos ou de informar fielmente sobre os mesmos; e que, portanto, se converte no contrário, do verdadeiro empirismo.

Se alguma leitura é recomendável a esses senhores investigadores, que não encontram

palavras suficientes para classificar as extravagantes especulações apriorísticas da filosofia alemã da Natureza, é justamente uma leitura não só de autores da época, mas inclusive de obras físico-teóricas recentes da escola empírica, sobretudo no que se refere a investigação da eletricidade. Tomemos um trabalho do ano de 1840: *An Outline of the Sciences of Heat and Electricity*, de Thomas Thomson (1778-1852). O velho Thomson era, em seu tempo, uma autoridade e tinha, além disso, a sua disposição, uma parte muito importante dos trabalhos daquele que, até então, era o maior nome no terreno da eletricidade: Faraday. Apesar disso, seu livro contém extravagâncias pelo menos iguais as contidas na seção correspondente da *Filosofia da Natureza*, de Hegel, muito mais antiga. A descrição da faísca elétrica, por exemplo, poderia ter sido traduzida diretamente da respectiva passagem de Hegel. Ambos enumeram todas as curiosidades que se pretendiam descobrir na verdadeira natureza das faíscas e suas múltiplas diferenças, tendo-se verificado que quase todas elas eram resultado de erros ou constituíam casos especiais. Mas ainda há melhor. Thomson reproduz, na pág. 446, com toda a seriedade, as histórias fantásticas de Dessaignes (Victor, 1800-1885), segundo as quais, quando o barômetro sobe e o termômetro desce, o vidro, a resina, a seda, etc., submersos em mercúrio, se tornam eletronegativos; pelo contrário, ficam positivos quando o barômetro baixa e o termômetro sobe; que o ouro e outros metais, no verão, se tornam positivos ao serem aquecidos e negativos, quando esfriados; no inverno, o fenômeno é inverso; que, com pressão barométrica elevada e vento norte, se tornam fortemente eletropositivos quando a temperatura sobe e negativos quando desce. Isso, quanto ao modo de tratar os fatos. Mas, no que se refere à especulação apriorística, Thomson nos deleita com a seguinte interpretação da faísca elétrica, apoiada nada menos do que em Faraday:

"A faísca é uma descarga ou debilitação do estado de indução polarizada de muitas partículas dielétricas, mediante uma ação peculiar de algumas dessas partículas, que ocupam um espaço muito limitado. Faraday supõe que as poucas partículas em que se produz a descarga, não são apenas dispersadas, mas adquirem temporariamente um estado de extrema atividade (*fortemente exaltadas*); quer dizer que todas as forças que as rodeiam são precipitadas sobre elas que, por isso, são postas num estado de correspondente intensidade, talvez equivalente a dos átomos que se combinam; que, então, descarregam essas forças, tal como esses átomos as suas, de um modo até agora desconhecido, terminando tudo assim. O efeito final é exatamente o mesmo que se verificaria se uma partícula metálica tivesse sido posta no lugar dessa partícula produtora da descarga; e não parece impossível que os princípios de ação se mostrem os mesmos em ambos os casos".

E Thomson acrescenta: "Apresentei essa explicação de Faraday, com suas próprias palavras, porque não a compreendo claramente". Isso haverá ocorrido também a outras pessoas; e da

mesma forma que ocorrerá se lerem em Hegel que, na faísca elétrica "a materialidade peculiar do corpo em tensão, não entrou ainda no processo, mas sim está determinada nele apenas elementar e animicamente"; e que a eletricidade é "a própria ira, o próprio levantamento indignado do corpo", seu "iracundo ele mesmo", que "aparece em todo o corpo, quando irritado" (*Naturphil.*, § 324, acrescentado). Vê-se, pois, que o pensamento básico é o mesmo, quer em Hegel, que em Faraday. Ambos não querem admitir a concepção de que a eletricidade seja, não um estado da matéria, mas sim uma espécie própria da matéria. E, como na faísca, a eletricidade aparece como coisa independente, livre de todo o substrato material (isoladamente e, no entanto, perceptível aos sentidos), no estado em que se encontrava a ciência nessa época, sucumbem em face da necessidade de conceber a faísca como a forma aparente, em fase de desaparecimento, de uma *força* momentaneamente libertada de toda a matéria. Para nós, o enigma está resolvido desde que sabemos que, durante a descarga da faísca, saltam realmente *partículas metálicas* entre os eletródios metálicos e que, em conseqüência, "a materialidade peculiar ao corpo em tensão" na realidade, "entra no processo".

Como o calor e a luz, também a eletricidade e o magnetismo foram considerados, de início, como matérias especiais imponderáveis. No que respeita à eletricidade chegou-se, desde logo, a considerar duas matérias opostas, dois *fluidos*, um positivo e outro negativo, que, no estado normal, se neutralizam mutuamente, até que sejam separados por uma chamada *força elétrica de separação*. É possível, então, carregar dois corpos, um com eletricidade positiva e outro com eletricidade negativa; e quando os unimos com um terceiro corpo condutor, verifica-se a igualização, seja ela instantânea, ou por meio de uma corrente duradoura. A igualização instantânea parecia muito simples e ilustrativa; mas a corrente oferecia dificuldades. À hipótese mais simples (segundo a qual, na corrente elétrica se move em cada direção, somente eletricidade positiva ou somente eletricidade negativa) a essa hipótese opuseram Fechner mais detalhe, Weber a teoria de que, durante o fechamento do circuito, passam pelo fio, em direção contrária, duas correntes de eletricidade positiva e negativa, em canais, um ao lado do outro, situados entre as moléculas ponderáveis dos corpos (1). Traduzindo essa teoria por meio de extensa elaboração matemática, Weber chega a multiplicar uma função que não interessa ao caso por uma grande $1/r$, que significa "a relação... da unidade de eletricidade com o miligrama" (Wiedemann, *Lehre vom Galvanismus*, etc., 2ª ed., III, pág. 569). A relação com uma medida de peso só pode ser, naturalmente, uma relação de peso. De sorte que, o empirismo unilateral, à força de tanto calcular, havia esquecido a tal ponto de pensar que transforma, neste caso, a eletricidade imponderável em um fator ponderável, introduzindo o seu peso no cálculo matemático.

As fórmulas deduzidas por Weber só eram aceitáveis dentro de certo limite; e Helmholtz, principalmente, por meio do cálculo, chegou a resultados que entram em conflito com a lei da conservação da energia. À hipótese de Weber, da dupla corrente em sentido contrário, opôs C (are) Neumann (1832-1925), em 1871, uma outra: que somente uma das duas eletricidades, por exemplo a positiva, se move na corrente; e a outra, a negativa, permanece firmemente ligada à massa do corpo. A essa hipótese, apresenta Wiedemann a seguinte observação: "Essa hipótese poderia ser acrescida à de Weber se, à dupla corrente por ele suposta, de massas elétricas $\pm 1/2e$, que fluem em sentido contrário, ajuntarmos outra *corrente de eletricidade neutra*, sem efeito exterior, que carregue consigo, na direção da corrente positiva, as quantidades de eletricidade iguais a $\pm 1/2e$ (III, pág. 577).

Essa suposição é também típica do empirismo unilateral. Para conseguir que, de qualquer maneira, a eletricidade estabeleça corrente, é ela dissociada em positiva e negativa. Mas todas as tentativas para explicar a corrente por meio dessas duas espécies de matéria, se chocam com várias dificuldades: tanto a suposição de que apenas uma delas existe separadamente na corrente; como a de que ambas correm simultaneamente, em sentido contrário, uma ao lado da outra; e, finalmente, a terceira hipótese de que uma corre e a outra permanece em repouso. Se nos detivermos nessa última suposição, como explicar a inexplicável idéia de que a eletricidade negativa, que na *máquina de eletrizar* e na garrafa de Leyden é bastante movediça, permaneça imóvel, na corrente, e ligada à massa do corpo? Muito simplesmente. Além da corrente positiva $+e$ que flui à direita do fio; e da negativa $-e$, que flui à esquerda, fazemos fluir à direita uma corrente *neutra* de eletricidade igual a $\pm 1/2e$. É necessário supor, primeiro, que as duas eletricidades, para que possam fluir, devem ser separadas uma da outra; e, para explicar os fenômenos que se produzem, ao fluírem as duas eletricidades separadas, admitimos que também podem fluir sem separar-se. Fazemos, primeiro, uma suposição para explicar determinado fenômeno; e, ao nos chocarmos com a primeira dificuldade, estabelecemos uma segunda suposição que elimina mansa e pacificamente a primeira. De que espécie será a filosofia da qual esses senhores têm o direito de queixar-se?

Ao lado dessa concepção que considera a eletricidade como coisa material, apareceu logo depois uma segunda, de acordo com a qual ela é um simples estado dos corpos, uma força, ou, como diríamos hoje, uma forma particular da movimento. Já tivemos ocasião de ver que tanto Hegel como Faraday, aceitam esse conceito. Depois que a descoberta do equivalente mecânico do calor pôs de lado, definitivamente, a idéia de uma *substância calórica*, considerando o calor como sendo um movimento molecular, o passo imediato seria encarar a eletricidade segundo a nova concepção e procurar determinar sua equivalência mecânica. Isso foi inteiramente conseguido. Principalmente em virtude das experiências de Joule, Favre e

Raoult, não só se determinou a equivalência mecânica e térmica da chamada *força eletromotriz* da corrente galvânica, como também sua perfeita equivalência com relação à energia posta em liberdade por processos químicos, na célula excitante, ou consumida na célula de decomposição. Em face disso, a suposição de que a eletricidade é um fluido material especial se tornou cada vez mais insustentável.

No entanto, a analogia entre o calor e a eletricidade não era ainda completa. A corrente galvânica se apresentava sempre dois pontos muito importantes, de maneira diferente da condução de calor. Não se podia dizer ainda o que era que se movia nos corpos carregados de eletricidade. A suposição de uma simples vibração molecular, como no calor, parecia insuficiente. Com a imensa velocidade da eletricidade (maior ainda que a da luz). Tornava-se difícil passar ao longe sobre a idéia de que ali se movia qualquer coisa de material. Nesse ponto, interviram as novíssimas teorias de Clerk Maxwell (1864), Hankel (1865), Reynard (1870), apoiando unanimemente a hipótese estabelecida por Faraday, em 1846, de que a eletricidade seria um movimento produzido por um meio elástico que penetra todo o espaço e, conseqüentemente, todos os corpos, cujas partículas discretas se repelem entre si segundo a lei da razão inversa do quadrado da distância; em outras palavras: que é um movimento das partículas do éter, sendo que as moléculas dos corpos participam desse movimento. Quanto à natureza desse movimento discrepam as diferentes teorias (Wilhelm, 1814-1899) e Reynard (Paul Marie, n. 1805), apoiando-se nas novas investigações sobre os movimentos turbilionários, explicam-na de diferentes maneiras, de sorte que os torvelinhos do velho Descartes voltam a receber as honrarias em domínios sempre novos. Abstemo-nos de entrar em detalhes a respeito dessas teorias: diferem muito entre si e, por certo, sofrerão ainda grandes transformações. Mas, na sua concepção fundamental, parece ter havido um progresso decisivo: que a eletricidade de um movimento das partículas do éter luminoso que penetra toda a matéria ponderável e que reaciona sobre as moléculas dos corpos. Essa concepção concilia as duas precedentes. De acordo com ela, nos fenômenos elétricos se move, na realidade, algo de substancial, diferente da matéria ponderável. Mas essa substância não é a eletricidade propriamente dita, que, pelo contrário, através dos fatos se apresenta como uma forma de movimento, muito embora não seja como uma forma de movimento imediato, direto, da matéria ponderável. Enquanto que a teoria do éter aponta, por um lado, o caminho para se ir além da noção primitiva e torpe dos fluidos elétricos contrários, por outro lado oferece perspectivas para se esclarecer *qual* seja o verdadeiro substrato substancial do movimento elétrico; sobre o *que vem a ser* essa coisa cujo movimento provoca os fenômenos elétricos (2).

A teoria do éter teve já, pelo menos, um êxito decisivo. Quando mais não seja, existe um

ponto em que a eletricidade altera o movimento da luz: desvia o seu plano de polarização. Clerk Maxwell, apoiado em sua já citada teoria, chegou à conclusão de que a constante dielétrica de um corpo é igual ao quadrado de seus índices de refração. Boltzmann calculou, então, a constante dielétrica de vários corpos não condutores, encontrando, para o enxofre, a resina e a parafina, um índice de refração igual à raiz quadrada desse coeficiente. A maior divergência - no enxofre - foi apenas de 4%. Dessa maneira, ficou confirmada, experimentalmente, num caso especial, a teoria de Maxwell a respeito do éter.

Muito tempo, no entanto, deverá transcorrer (e custará muito trabalho) até que novas séries de experiências venham destruir essas hipóteses (aliás, contraditórias entre si), até que se venha a estabelecer uma doutrina sólida. Até esse dia, ou até que a teoria do éter seja substituída por outra inteiramente nova, a investigação dos fenômenos elétricos se encontrará na desagradável situação de ser forçada a servir-se de expressões que sabemos, de antemão, que não são verdadeiras. Toda a sua terminologia se baseia ainda na idéia de que existem dois fluidos elétricos. Fala-se, ao mesmo tempo, com desembaraço, de *massas elétricas que percorrem os corpos, de uma separação das duas eletricidades em cada molécula*, etc. Esse é um mal que, como já disse, em grande parte é conseqüência inevitável do atual estado de transição da ciência; mas que é devido, também, ao empirismo unilateral, predominante nesse ramo da investigação científica e que, em não pequeno grau, contribui para manter a confusão mental reinante até agora.

A oposição entre a chamada eletricidade estática (ou de fricção) e a eletricidade dinâmica (ou galvanismo) pode muito bem ser agora superada, desde o momento em que aprendemos a produzir correntes permanentes com a máquina de eletrizar; e, inversamente, produzir a chamada eletricidade estática por meio da corrente galvânica, carregar com ela garrafas de Leyden, etc. Deixamos, por enquanto, de tratar da subforma da eletricidade estática, como também do magnetismo, reconhecido agora como sendo igualmente outra subforma da eletricidade. A explicação teórica dos respectivos fenômenos terá que ser encontrada, seguramente, na teoria da corrente galvânica; e, por isso, nos deteremos principalmente nesta. Uma corrente permanente pode ser produzida por diversos processos. O movimento mecânico de massa produz *diretamente*, por fricção, somente eletricidade estática, como primeiro efeito; mas uma corrente duradoura só pode ser obtida com um grande desperdício de energia. Para, poder ser convertido em movimento elétrico, pelo menos em grande parte, o movimento mecânico precisa do auxílio intermediário do magnetismo, tal como acontece nas conhecidas máquinas eletromagnéticas de: Gramme, Siemens, etc. O calor pode ser diretamente convertido em eletricidade, como se verifica no ponto de junção de dois metais diferentes. A energia posta em liberdade pela ação química (que, em condições ordinárias, é produzida sob

a forma de calor) se transforma, sob determinadas condições, em movimento elétrico. Este último, desde que se verifiquem as condições para isso, passa a ser qualquer outra forma de movimento: movimento de massa, em pequena escala, diretamente, em virtude das atrações e repulsões eletrodinâmicas; em grande escala, novamente por intermédio do magnetismo, nas máquinas motrizes eletromagnéticas; em calor, em todas as partes, ao fechar-se o circuito de corrente, caso não se tenham colocado outras derivações; em energia química, nas células de decomposição e nos voltímetros que são intercalados no seu circuito, em que a corrente decompõe combinações que, de outro modo, são atacadas em vão.

Em todas essas conversões, prevalece a lei fundamental da equivalência quantitativa do movimento, em todas as suas transformações. Ou, como diz Wiedemann: "... segundo a lei da conservação da força, o trabalho produzido, por qualquer processo, a fim de gerar uma corrente elétrica, deve ser equivalente ao trabalho consumido para gerar todas as ações da corrente". Na conversão do movimento de massa ou do calor, em eletricidade, não se verificam dificuldades; está demonstrado que, no primeiro caso, a chamada força eletromotriz é igual ao trabalho executado naquele movimento (3); no segundo caso é, "em cada ponto de contato da cadeia termoelétrica, diretamente proporcional à quantidade de calor medida em cada ponto de contato". Verificou-se também, em todos esses fatos, a vigência da mesma lei no caso da eletricidade obtida por meio da energia química. Mas agora o assunto não se apresenta de maneira tão simplista; pelo menos no que diz respeito à teoria atualmente aceita.

Uma das mais belas séries experimentais sobre as mudanças de forma do movimento que se pode obter por meio de uma pilha galvânica é a de Favre (1857-1858). Pôs ele em um calorímetro, uma pilha de 5 elementos; em um segundo calorímetro, uma pequena máquina motriz eletromagnética, com o eixo principal e polia de transmissão fora do aparelho, cada vez que, na pilha, era produzido 1 grama de hidrogênio com 32,6 gramas de zinco (o velho equivalente químico do zinco, sendo igual à metade do peso atômico de 65,2, hoje adotado e expresso em gramas) verificavam-se os seguintes resultados:

- a) - Pilha no calorímetro, totalmente isolada, com exclusão da máquina motriz; produção de 18.682 a 18.674 calorias;
- b) - Pilha e máquina conectada em circuito, mas sendo a máquina impedida de mover-se: calor, na pilha, 16.448; na máquina, 2.219; total, 18.667 calorias;
- c) - Como em B, mas a máquina se move, sem levantar, no entanto nenhum peso; calor na pilha, 12.888; na máquina, 4.760; total, 18.657 calorias;
- d) - Como em C, mas a máquina levanta um peso e, ao fazê-lo, realiza um trabalho mecânico = 131, 24 quilogrâmetros. Calor na pilha, 14.427; na máquina, 2.947; total de 18.574 calorias. Perda em relação às anteriores 18.682 = 308 calorias. Mas o trabalho mecânico

produzido, de 131, 24 quilogrâmetros, multiplicado por 1.000 (para fornecer ao quilograma as gramas do resultado químico) dividido pelo equivalente mecânico do calor = 423,5 quilogrâmetros, dá em resultado 309 calorias, isto é, exatamente a perda assinalada como equivalente calórico do trabalho mecânico realizado.

A equivalência do movimento, em todas as suas transformações, ficou assim demonstrada também para o movimento elétrico, dentro dos limites das inevitáveis fontes de erro. E fica igualmente demonstrado que a força eletromotriz da cadeia galvânica, nada mais é do que energia química convertida em eletricidade; e a cadeia química nada mais é do que um dispositivo, um aparelho que transforma em eletricidade a energia química que vai sendo posta em liberdade; da mesma forma que uma máquina a vapor transforma em movimento mecânico o calor que lhe é fornecido, sem que, em nenhum desses casos, o aparelho transformador transfira de si mesmo qualquer outra energia.

Mas aqui aparece uma dificuldade em face ao modo tradicional de representar o processo. Esse modo de representá-lo, atribui à cadeia, em virtude das relações de contato nela estabelecida entre os líquidos e os metais, uma tensão elétrica de dissociação que é proporcional à força eletromotriz, representando, pois, para uma dada cadeia, uma determinada quantidade de energia. Como se comporta essa fonte de energia que, segundo o método tradicional de encarar as coisas, seria inerente à cadeia como tal (muito embora sem a ação química), no que diz respeito à energia posta em liberdade por essa ação? E, se for uma fonte de energia independente da ação química, donde procede a energia que produz?

Essa questão, sob uma forma mais ou menos obscura, constitui o ponto litigioso entre a teoria do contato, fundada por Volta, e a teoria química da corrente galvânica, que surgiu imediatamente depois.

A teoria do contato explicava a corrente como sendo resultado das tensões elétricas que se produziam na cadeia ao verificar-se o contato dos metais com um ou vários líquidos ou somente dos líquidos entre si; assim como estabelecendo-se a igualdade entre essas tensões elétricas, dissociadas em eletricidades opostas, ao fechar-se o circuito. As transformações químicas que acompanhavam esse processo eram consideradas inteiramente secundárias em face da teoria pura do contato. Contrariamente a isso, sustentava Ritter (Johann Wilhelm, 1776-1810), já em 1805, que uma corrente não pode ser estabelecida se os excitadores não atuarem quimicamente, uns sobre os outros, desde antes do fechamento do circuito. Essa antiga teoria química é resumida, em termos gerais, por Wiedemann (I, pág. 784) no sentido de que, de acordo com ela, a chamada eletricidade de contato “somente apareceria quando entra em atividade uma verdadeira ação química dos corpos em contato; ou pelo menos, uma

perturbação do equilíbrio químico a qual, mesmo quando não esteja ligada diretamente a processos químicos, representa uma tendência à ação química".

Como se vê, a questão da fonte de energia, só indiretamente é debatida por ambas as partes, como aliás não podia deixar de ser nessa época. Volta e seus sucessores nada viam de extraordinário no fato de que o simples contato de corpos heterogêneos pudesse gerar uma corrente constante, ou seja, realizar uma determinada quantidade de trabalho sem receber nada em troca. Ditter e seus adeptos encontram-se igualmente às escuras quanto a saber a maneira pela qual a ação química põe a cadeia em condições de gerar a corrente e seu resultante rendimento de trabalho. Mas se, no que se refere à teoria química, esse ponto ficou esclarecido, faz algum tempo, por Joule, Favre, Raboult (François Marie, 1830-1901) e outros, com a teoria do contato sucede justamente o contrário. Na medida em que foi possível sustentar-se, permanece, quanto ao essencial, no seu ponto de partida. Idéias pertencentes a tempos superados desde muito, tempos em que era necessário nos contentarmos com o fato de atribuir a qualquer resultado obtido, a primeira causa aparente, que se pudesse encontrar à mão, muito embora das maneira se fizesse sair movimento do nada; idéias que contradizem frontalmente o princípio da conservação da energia continuam assim sobrevivendo independentemente, na atual teoria da elétricas. E, caso essas idéias sejam despojadas de seus aspectos mais chocantes, debilitadas, aguadas, castradas, embelezadas, isso em nada modifica a questão: a confusão se tornará cada vez maior.

Como tivemos ocasião de ver, a velha teoria química relativa à corrente declara que as relações de contato nos elementos da cadeia são estritamente necessárias para a formação da corrente; mas defende o ponto de vista de que esses contatos não conseguem jamais gerar uma corrente sem que se verifique uma ação química simultânea. E hoje, entretanto, se tornou evidente que os dispositivos de contato da cadeia constituem precisamente o aparelhamento mediante o qual a energia química posta em liberdade é convertida em corrente; e que depende essencialmente desses dispositivos de contato a quantidade de energia que se converterá em corrente.

Wiedemann, como empírico unilateral que é, procura salvar o que for possível da velha teoria do contato. Acompanhem-lo em raciocínio:

"Se bem que o efeito do contato de corpos quimicamente indiferentes (diz Wiedemann, I, pág. 799), por exemplo, os metais, segundo se acreditava antes, *nem é necessário à teoria da pilha*, nem está demonstrado pela circunstância de haver Ohm deduzido sua lei baseado nessa, hipótese (porque essa lei pode ser deduzida mesmo sem essa teoria, e Fechner, que confirmou experimentalmente essa lei, também defendeu a teoria do contato), não se pode negar a excitação elétrica (sic) em virtude do *contato de metais*, pelo menos de acordo com as

experiências atualmente realizadas, mesmo quando os resultados possíveis no que se refere à quantidade pudessem ter, nesse sentido, uma falha inevitável: a impossibilidade de manter absolutamente limpas as superfícies dos corpos em contato."

Vê-se, assim, que a teoria do contato se tornou muito modesta. Reconhece que não é de forma alguma necessária para explicar a corrente; e que não foi demonstrada, nem teoricamente por Ohm, nem experimentalmente por Fechner. Chega momento de reconhecer que as experiências denominadas fundamentais (as únicas em que, portanto, nos devemos apoiar) somente proporcionam resultados inseguros no sentido quantitativo; e pretende de nós, apenas isto: reconhecemos que, seja como for, a eletricidade pode ser produzida por contato, muito embora tão somente de *metais!*

Se a teoria do contato permanecesse apenas nisso, nada havia a lhe ser objetado. Que, em virtude do contato entre metais, ocorrem fenômenos elétricos por meio dos quais é possível fazer com que se contraíam os músculos de uma rã, carregar um eletroscópio e provocar outros movimentos, tudo isso se pode admitir incondicionalmente. Apenas devemos perguntar em seguida: mas donde procede a energia necessária para isso?

Para responder a essa pergunta (segundo Wiedemann, I, pág. 14), "apresentaremos *talvez* as seguintes considerações:

Se duas chapas metálicas heterogêneas A e B são aproximadas até uma pequena distância, elas se atraem em virtude das forças de adesão. Estabelecido o seu contato recíproco, perdem a força viva (4) do movimento, a qual lhes foi fornecida por essa atração. (Se admitirmos que as moléculas dos metais se encontram em permanente vibração, devemos levar em conta o seguinte: quando, por meio do contato desses metais heterogêneos, tocam-se as suas moléculas que vibram desigualmente, *poderia* também produzir-se uma mudança nas suas vibrações, com perda de força viva.) A força viva perdida converte-se, na *sua maior parte*, em calor. Uma *pequena parte* é utilizada para distribuir de modo diferente as eletricidades que ante não estavam separadas. Como dissemos acima, os corpos postos em contato se carregam com partes iguais de eletricidade positiva e negativa, *talvez* em consequência de uma atração desigual em relação a ambas essas formas de eletricidade".

A modéstia da teoria do contato se vai tornando cada vez maior. Primeiro se reconhece que a poderosa força de separação elétrica (que depois tem que realizar um trabalho gigantesco) não possui em si nenhuma energia própria e não pode entrar em ação enquanto não lhe for fornecida energia de alguma parte estranha a ela. E, em seguida, lhe é atribuída uma fonte de energia quase insignificante - a força viva de adesão - que só entra em atividade a distâncias dificilmente mensuráveis por tão pequenas que são e que faz os corpos percorrerem um caminho quase imperceptível. Mas isso pouco importa: ela existe inegavelmente e, sem

dúvida, desaparecer depois do contato. No entanto, mesmo essa fonte mínima, fornece energia demasiada para os nossos fins: uma *grande* parte é convertida em calor e somente uma *pequena* parte é destinada a dar vida à força de separação elétrica. Mesmo sendo sabido que, na Natureza, ocorrem muitos casos em que impulsos extremamente pequenos provocam efeitos de extraordinária potência, o próprio Wiedemann parece sentir que essa fonte de energia quase gotejante dificilmente poderá produzir alguma coisa e procura descobrir uma possível segunda fonte, estabelecendo a suposição de uma interferência das vibrações moleculares de ambos os metais sobre as superfícies de contato. Além de outras dificuldades que se apresentam neste caso, Grove e Gassiot assinalaram que nem ao menos é necessário um perfeito contato para que se verifique a produção de eletricidade, conforme o próprio Wiedemann nos relata uma página antes. Em síntese: a fonte de energia da força de separação elétrica vai secando à medida que a examinamos.

E, no entanto, não conhecemos outra melhor para produção de eletricidade por intermédio do contato de metais. Segundo Naumann (Alexander, 1837-1922, *Allgem. u. Phys. Chemie*, Heidelberg, 1877, pág. 675), "as forças eletromotrizes de contato, transformam calor em eletricidade". Acha ele "natural a suposição de que a capacidade dessas forças disponível ou, em outras palavras, é uma função da temperatura", calor disponível ou, em outras palavras, é uma função da temperatura", o que estaria também demonstrado experimentalmente por Le Roux. Neste caso também, caminhamos dentro de uma total imprecisão. A lei da série de tensões dos metais proíbe que nos baseemos nos processos químicos que se sucedem incessantemente nas superfícies de contato dos metais, sempre cobertas por uma camada delgada (que a nós outros é praticamente impossível eliminar) de ar e água impura; isto é, pretender explicar a produção de eletricidade devido à presença de um eletrólito ativo invariável, entre as superfícies em contato. Um eletrólito dessa espécie teria que produzir, no circuito fechado, uma corrente constante; mas, pelo contrário, a eletricidade produzida por contato metálico simples desaparece quando se fecha o circuito. E assim chegamos ao ponto crucial da questão: sabermos se e de que maneira essa *força de separação elétrica*, antecipadamente limitada pelo próprio Wiedemann aos metais (declarada incapaz de produzir trabalho sem o abastecimento de energia externa e, em seguida, obrigada a recebê-lo de uma fonte de energia realmente microscópica), torna possível o surgimento da corrente elétrica duradoura por meio de contato de corpos quimicamente diferentes.

A série de tensões estabelece, entre os metais, uma determinada tensão elétrica. Mas, se colocarmos essa série de metais em um circuito de maneira que o zinco e a platina se toquem também, a tensão imediatamente se iguala e desaparece. "Em um circuito fechado, de corpos que pertencem à série de tensões, é portanto impossível a formação de uma corrente

duradoura". Esse princípio é apoiado por Wiedemann, com as seguintes considerações teóricas:

"Na realidade, caso surgisse uma corrente elétrica no circuito, deveria produzir-se calor nos próprios condutores metálicos, o qual só poderia ser anulado por meio do esfriamento dos pontos de contato dos metais. Em todo o caso, se verificaria uma distribuição desigual de calor; poderia também ser movida uma máquina motriz eletromagnética sem nenhuma contribuição exterior, realizando-se assim um trabalho, o que é impossível, considerando-se que, se estabelecêssemos uma união fixa entre os metais, por exemplo, por meio de uma solda, já não seria possível haver mudanças de nenhuma espécie, nos pontos de contato, capazes de compensarem esse trabalho".

E não é bastante a prova teórica e experimental de que a eletricidade de contato entre os metais não pode, por si só, gerar uma corrente: veremos também que Wiedemann foi obrigado a estabelecer uma hipótese especial, visando eliminar sua ação, mesmo nos casos em que poderia prevalecer, de certo modo, na corrente.

Procuremos então outro caminho para chegarmos à corrente elétrica por meio da eletricidade de contato. Imaginemos, como Wiedemann, "dois metais: uma barra de zinco e outra de cobre, soldadas em uma de suas faces, mas tendo suas faces livres unidas por um terceiro; corpo que *não* atue eletricamente sobre elas, mas que apenas conduza as duas eletricidades opostas, acumuladas em suas superfícies, de modo que se tornassem iguais nesse mesmo corpo; dessa maneira, a força elétrica de separação restabeleceria constantemente a diferença de tensões e apareceria assim uma corrente elétrica contínua, no circuito, a qual, sem nenhuma contribuição externa, poderia realizar trabalho; o que é, por sua vez, impossível. Em consequência, não pode haver nenhum corpo que conduza somente a eletricidade, sem uma atividade eletromotriz contrária aos outros corpos". Tudo isso de nada nos adiantou: a impossibilidade de criar movimento nos obstrui o caminho novamente. Por meio do contato de corpos quimicamente indiferentes, ou seja, por meio da eletricidade de contato propriamente dita, não conseguiremos, jamais uma corrente. Façamos, pois, de novo, meia volta e tentemos um terceiro caminho que nos aponta Wiedemann.

"Façamos submergir, finalmente, uma barra de zinco e outra de cobre em um líquido que contenha uma dessas combinações chamadas binárias, isto é, que se podem decompor em duas partes quimicamente diferentes, saturando-se completamente; por exemplo: ácido clorídrico diluído (Cl + H) etc. Assim sendo, o zinco fica carregado negativamente e o cobre positivamente, de acordo com o § 27. Ao se unirem os metais, essas eletricidades se tornam iguais no local de contato, pelo qual passa assim uma corrente de eletricidade positiva, indo do cobre para o zinco. Como também a força elétrica de separação (que aparece devido ao

contato desses metais) conduz a corrente de eletricidade positiva no mesmo sentido, os efeitos da força elétrica de separação não se anulam, tal como acontece no circuito metálico fechado. Dessa forma, é produzida uma corrente contínua de eletricidade positiva que, no circuito fechado, passa do cobre para o zinco por seu local de contato; e, através do líquido, do zinco para o cobre. Dentro em pouco voltaremos ao seguinte ponto (§ § 34 e segs.): em que medida participam efetivamente, na formação dessa corrente, as forças de separação elétrica existentes no local de contato. Denominamos a essa combinação de condutores, que produz essa corrente galvânica, um elemento galvânico e também uma cadeia galvânica". (I, pág. 45). Dessa maneira, se havia realizado o milagre. Apenas por meio da força de separação elétrica de contato que, segundo o próprio Wiedemann, não pode entrar em ação sem o fornecimento de energia exterior, foi gerada uma corrente contínua. E, se não nos fora oferecido, para sua explicação, outro argumento senão a citada passagem de Wiedemann, estaríamos realmente diante de um milagre. Neste caso, que aprendemos nós a respeito do processo em questão?

- 1) - Se submergirmos zinco e cobre em um líquido que contenha uma combinação denominada *binária*, o zinco se carrega negativamente e o cobre positivamente, de acordo com o § 27. Mas, em todo esse parágrafo, não há uma só palavra referente a essa combinação binária. Limita-se ele a descrever um elemento simples da pilha de Volta, que consta de uma chapa de zinco e outra de cobre, entre as quais se interpõe um disco de pano umedecido em um ácido e passa logo a determinar, sem mencionar nenhum processo químico, as cargas eletrostáticas que são, assim, produzidas em ambos os metais. Dessa maneira, a pretendida combinação binária é contrabandeada pela porta dos fundos.
- 2) - Qual o papel desempenhado, no caso, por essa combinação binária, é coisa que permanece no mais absoluto mistério. A circunstância de que "*se podem decompor* em dois elementos químicos que se saturam completamente" (saturam-se completamente depois de se haverem dissociado?!) poderia, quanto muito, ensinar-nos alguma coisa de novo *se, de fato, se dissociassem*. Mas, a esse respeito, não se diz uma só palavra; e em vista disso, devemos admitir, pelo menos por enquanto, que não se dissociam, como por exemplo, no caso da parafina.
- 3) - Depois que, no líquido, o zinco se tenha carregado negativamente e o cobre positivamente, devemos pô-los em contato (fora do líquido). Em seguida, "essas eletricidades se igualam totalmente, no local de contato, através do qual passam *assim* uma corrente de eletricidade positiva do cobre para o zinco". Neste caso, também não ficamos sabendo a razão pela qual passa uma corrente de eletricidade *positiva*, em uma direção, e não uma de eletricidade negativa, em direção contrária. Tampouco nos é dito o

que foi feito da eletricidade negativa, apesar de que, até esse momento, ser ela tão necessária quanto a positiva. A ação da força de separação elétrica consistia, precisamente, em pôr em liberdade ambas as eletricidades, uma contra a outra. Agora é suprimida de repente, até certo ponto oculta, admitindo-se a possibilidade de que só existia eletricidade positiva.

Mas logo em seguida, na pág. 51, se diz exatamente o contrário, porque então "as eletricidades se unem, formando uma corrente", de modo que, neste caso, tanto passa a positiva como a negativa! Quem nos poderá tirar desse atoleiro

- 4) - "Como a força de separação elétrica que aparece, mediante o contato dos metais citados, conduz a eletricidade positiva *em um mesmo sentido*, os efeitos das forças de separação elétrica não se anulam, tal como acontece num circuito metálico fechado. Aparece, portanto, uma corrente contínua etc. Isso é um pouco forte. Porque, como podemos ver algumas páginas adiante (pág. 52), nos adverte Wiedemann de que "na formação da corrente contínua... a força de separação elétrica... *deve permanecer inativa no local* de contato dos metais"; que essa corrente é produzida não somente quando essa força, em vez de impulsionar a corrente em seu mesmo sentido, atua contra ela; mas tampouco nesse caso a corrente é compensada por determinada participação da força de separação elétrica da cadeia; e dessa forma, também nesse caso a referida força permanece inativa. Como pode Wiedemann, então, na pág. 45, fazer com que participe, como fator necessário na formação da corrente, uma força de separação elétrica que, já na pág. 52, põe fora de atividade durante toda a duração da corrente e, ainda mais, baseado numa hipótese especialmente estabelecida com esse fim?)
- 5) - "Produz-se, assim, uma *corrente contínua* de eletricidade positiva, que passa, no circuito fechado, do cobre para o zinco através do líquido". Mas, em consequência de tal corrente contínua, deveria originar-se "calor nos corpos condutores"; poderia também "ser movida uma máquina motriz eletromagnética e, assim, ser realizado um trabalho", o que é impossível sem um suprimento de energia. Como Wiedemann não nos revela, com uma palavra sequer, se e donde provém esse suprimento de energia, essa corrente contínua é também, neste caso, uma coisa tão impossível como os outros dois por ele analisados.

E isso não é sentido por ninguém melhor do que por Wiedemann. Tanto que ele considera conveniente passar tão rapidamente quanto possível sobre os muitos pontos controvertidos dessa curiosa e surpreendente maneira de explicar a produção de uma corrente elétrica; e, por outro lado, procura entreter o leitor, ao longo de várias páginas, com toda uma série de historietas elementares a respeito dos efeitos térmicos, químicos, magnéticos e fisiológicos

dessa sempre misteriosa corrente, adotando, para isso, excepcionalmente, um tom bastante popular. E, logo depois, retoma o assunto novamente (pág. 49):

"Devemos agora investigar de que maneira atuam as forças de separação elétrica, em um circuito fechado composto de dois metais e um líquido, por exemplo, zinco, cobre e ácido clorídrico. *Sabemos* que os componentes da composição binária (H Cl), contida no recipiente cheio de água, separam-se ao passar a corrente; de maneira que um deles (H), *é posto em liberdade* no cobre e o outro, (Cl), no zinco; e, por esse motivo, o último se combina com uma quantidade equivalente de zinco, dando em resultado Zn Cl".

Sabemos. Se soubéssemos disso, não seria seguramente por intermédio de Wiedemann, que até este momento não nos revelou absolutamente nada a respeito desse processo, segundo temos visto. E, além do mais, se alguma coisa sabemos a esse respeito, é justamente que o fenômeno não se pode realizar da maneira descrita por Wiedemann.

Ao formar-se uma molécula de ácido clorídrico, constituída de hidrogênio e cloro, é posta em liberdade uma quantidade de energia = a 32.000 calorías (Julius Thomsen, 1826-1909). De sorte que, para subtrair o cloro dessa combinação com o hidrogênio, seria necessário substituir cada molécula de H Cl, por essa mesma quantidade de energia. E donde tira a cadeia essa energia? A explicação de Wiedemann nada esclarece. Busquemo-la, pois, nós mesmos.

Quando o cloro se combina com o zinco, formando cloreto de zinco, é posta em liberdade uma quantidade muito maior de energia do que a necessária para separar o cloro do hidrogênio (Zn, Cl₂) desenvolve , 97.210, 2 (H, Cl) calorías (Julius Thomsen). E assim se torna compreensível o processo que se verifica na cadeia. De sorte que o hidrogênio, em contato com o cobre, não é posto em liberdade sem mais nem menos; nem o cloro com o zinco se combinam casualmente. Pelo contrário: a combinação do zinco com o cloro é a condição fundamental de todo o processo; e, enquanto não se produzir, esperaremos em vão o aparecimento do hidrogênio do lado do cobre.

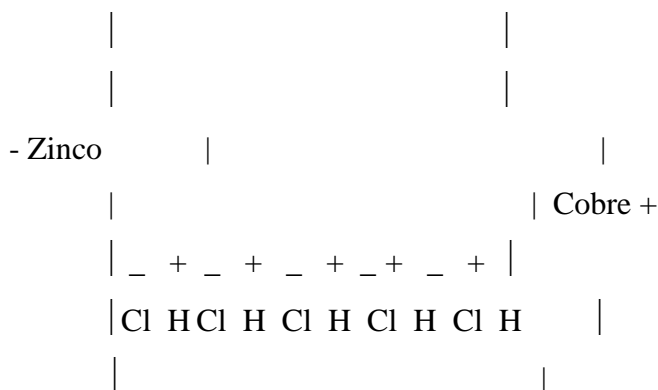
As sobras da energia posta em liberdade ao tornar-se a molécula de Zn Cl₂, relativamente à consumida para desprender dois átomos de H de duas moléculas de H Cl, convertem-se, na cadeia, em corrente elétrica, provendo toda a *força eletromotriz* que aparece no circuito de corrente. Não é, portanto, nenhuma misteriosa força de separação elétrica que extrai o cloro do hidrogênio, sem a indicação, até este momento, de nenhuma fonte de energia; é o processo químico total, que se desenvolve na cadeia, o responsável pelo provimento da energia necessária a todas as *forças de separação elétrica e forças eletromotrizes*.

Assinalemos, por enquanto, que a segunda explicação de Wiedemann, tal como a primeira, não nos tirou do pântano; e continuemos examinando o seu texto.

"Este processo demonstra que a conduta do corpo binário, entre os dois metais, já não consiste

somente em uma simples atração predominante, de toda a sua massa, como acontece entre os metais, mas sim que há o acréscimo de uma ação especial de seus componentes. Considerando que o componente Cl se desprende no local em que a corrente de eletricidade positiva penetra no líquido; e o componente H, onde penetra a eletricidade negativa, admitamos que cada equivalente, do cloro, na combinação H Cl, esteja carregado de uma determinada quantidade de eletricidade negativa, o que determina sua atração pela eletricidade positiva. É esse o componente eletronegativo da combinação. Da mesma forma, o equivalente H deve estar carregado de eletricidade positiva, representando assim o componente eletropositivo da mesma combinação. Essas cargas poderiam ser produzidas pela combinação de H e Cl, da mesma forma que pelo contato entre o zinco e o cobre. Como a combinação H Cl é, em si, eletricamente neutra, devemos admitir, em conseqüência, que na mesma os átomos do componente positivo e do negativo contêm iguais quantidades de eletricidade positiva e negativa.

Se submergirmos uma chapa de zinco e uma outra de cobre em ácido clorídrico diluído, podemos então supor que o zinco manifesta uma atração mais forte pelo componente eletronegativo (Cl) do que pelo eletropositivo (H). Em conseqüência disso, as moléculas de ácido clorídrico, que entraram em contato com o zinco, se colocariam de modo a dirigir seus componentes eletropositivos para o zinco e os eletronegativos, para o cobre. Os componentes assim ordenados, atuam, por sua força de atração elétrica, sobre os componentes assim ordenados, atuam, por sua força de atração elétrica, sobre os componentes da molécula de H Cl seguinte; e toda a fila de moléculas entre a chapa de zinco e a de cobre, fica ordenada como se vê na figura 10:



"Se o segundo metal atuasse sobre o hidrogênio positivo, como o zinco sobre o cloro negativo, a ordenação seria favorecida. Caso atue em sentido contrário, porém mais debilmente, permanece sem alteração a orientação daquelas".

Em virtude da ação de influência da eletricidade negativa, do componente eletronegativo Cl, encostado ao zinco, a eletricidade do zinco ficaria distribuída de tal forma que as partes do mesmo mais próximas de Cl (da molécula também mais próxima de ácido), se carregariam positivamente; e as mais afastadas, negativamente. Da mesma forma, no cobre, na parte mais próxima do componente eletropositivo (H), da molécula de ácido clorídrico encostada, se acumularia eletricidade negativa; e a positiva seria impelida para as partes mais afastadas.

Então, a eletricidade positiva do zinco se combinaria com a negativa do átomo mais próximo Cl; e este, por sua vez, com o zinco de $ZnCl_2$ neutro. O átomo eletro positivo H, que estava combinado com aquele átomo Cl, se combinaria com o átomo Cl (dirigido para ele) da segunda molécula de H Cl, verificando-se a simultânea combinação das eletricidades contidas em seus átomos de igual maneira se combinariam o H da segunda molécula de H Cl com o Cl da terceira molécula; e assim sucessivamente, até que, ao atingir o cobre, ficaria livre um átomo de H, cuja eletricidade positiva se combinaria com a negativa do cobre e, desse modo, se escaparia em um estado elétrico". Esse processo "se repetiria até que a repulsão das eletricidades acumuladas (resultantes dos componentes do ácido clorídrico a, elas dirigidos) entrasse em perfeito equilíbrio com a atração química dos últimos pelos metais. Mas, se as chapas metálicas são unidas entre si por um condutor, as eletricidades livres das chapas metálicas unem-se entre si e podem recomeçar os processos antes enunciados. Dessa maneira, se produziria uma corrente elétrica contínua. É fácil compreender que, durante o processo, se verifica uma perda constante de força viva, quando se dirigem para os metais, com uma certa velocidade, os componentes da combinação binária e entrem, então, em repouso, quer formando uma combinação ($Zn Cl_2$), quer sendo postos em liberdade (H). [Observação (de Wiedemann): Considerando-se que aquisição de força viva, quando os componentes Cl e H se separam... é compensada pela força viva perdida na união dos mesmos com os componentes das moléculas mais próximas, a influência desse processo pode ser desprezada]. Essa perda de força viva, é equivalente à quantidade de calor posta em liberdade durante o processo químico que se torna visível, ou seja, no essencial, pela dissolução de uma equivalência de zinco no ácido diluído. O trabalho dependido na separação das eletricidades deve ser equivalente a esse valor. De sorte que, se as eletricidades se unem em uma corrente, então, durante a dissolução de um equivalente de zinco e o desprendimento de um equivalente de hidrogênio da massa líquida, deve produzir-se um certo trabalho em todo o circuito, quer sob a forma de calor, quer sob a forma de realização de trabalho externo, o qual é também equivalente ao desenvolvimento de calor correspondente àquele trabalho químico".

"Admitamos... poderiam... devemos admitir... podemos supor... se distribuiria... se carregariam..." etc., etc. Apenas conjecturas e condicionais, dentre as quais só podemos aceitar,

com segurança, três considerações: primeiro, que a combinação do zinco com o cloro é agora mencionada como condição do desprendimento de hidrogênio; segundo (como o aprendemos, finalmente, e como que de passagem), que a energia posta em liberdade, por meio desse processo químico, é a fonte (e a fonte exclusiva) de toda a energia necessária à formação da corrente; e, em terceiro lugar, que essa explicação a respeito da formação da corrente é apresentada confusamente, sendo tão semelhante às duas outras como as mesmas entre si.

Logo depois diz ele:

“Por conseguinte, a força de separação elétrica pode ser única e, exclusivamente aquela que atua na produção da corrente, força essa que é proveniente da desigual atração e da polarização dos átomos da combinação binária, no líquido excitante da cadeia, por meio dos eletródios metálicos. Mas, a força de separação elétrica, no local de contato dos metais, com que já não podem ser produzidas transformações mecânicas, *deve permanecer, pelo contrário, inativa*. Que esta (quando, por exemplo, *atua em sentido contrário* à excitação eletromotriz dos metais pelo líquido, como acontece quando submergimos estanho e chumbo em uma solução de cianureto de potássio) não é compensada por determinada participação da força de separação nos últimos, fica provado pela citada proporcionalidade perfeita de toda a força de separação (e força eletromotriz) no circuito de fechamento, com a citada equivalência calórica dos processos químicos. Deve, pois, ser neutralizada de outra maneira. Isso sucederia do modo mais simples possível se supusermos que, durante o contato do líquido excitante com os metais, a força motriz é produzida duma dupla maneira: em primeiro lugar, devido a uma atração desigual das *massas* do líquido, considerado como um todo, por uma ou outra eletricidade; e depois, pela atração desigual dos metais pelos *componentes* do líquido, carregados de eletricidades contrárias... Em conseqüência da primeira atração desigual (de massas) pelas eletricidades, os líquidos se comportariam inteiramente de acordo com a lei da série de tensões dos metais; e num circuito fechado, se produziria uma completa neutralização das forças de separação elétrica (e as forças eletromotrizes); a segunda ação (*química*)... provocaria por si só a força de separação elétrica necessária para a formação de corrente e da força eletromotriz correspondente a ela". (I, págs. 52-53).

Com isso, o que restava da teoria do contato ficaria sem efeito - e a salvo - no que se refere à formação de corrente; e também o que resta da primeira explicação de Wiedemann a respeito da formação de corrente exposta na pág. 45. Finalmente, é reconhecido, sem reserva, que a cadeia galvânica não é mais do que um aparelhamento para converter a energia química, à medida que se vai pondo em liberdade, em movimento elétrico, nas chamadas forças de separação elétrica e força , eletromotriz; da mesma forma que a máquina a vapor é um aparelhamento destinado à conversão de energia calorífica em movimento mecânico. Tanto

num como no outro caso, esse aparelhamento cria apenas (as condições para a libertação e as posteriores transformações da energia; mas, por si só, não produz energia. Uma vez esclarecido esse ponto, resta-nos ainda examinar mais de perto a terceira versão com que Wiedemann tenta explicar a corrente elétrica.

De que maneira explica ele as transformações da energia no circuito fechado da cadeia?

Diz ele ser compreensível o fato de que, na cadeia:

"tenha lugar uma perda constante de força viva ao serem atraídos pelos metais, com certa velocidade, os componentes da combinação binária e chegarem, então, ao repouso, quer formando uma combinação ($Zn Cl_2$), quer se pondo em liberdade (H).

"Essa perda de força viva é equivalente à quantidade de calor posta em liberdade durante o processo químico que se torna visível, ou seja, no essencial, devido à dissolução de um equivalente de zinco no ácido diluído".

Em primeiro lugar, quando o processo se desenvolve puro não é posto em liberdade nenhum calor, na cadeia; visto como a energia que vai sendo posta em liberdade é transformada em eletricidade, e, somente devido à resistência do conjunto do circuito, uma parte dela é convertida em calor.

Em segundo lugar, a força viva é igual à metade do produto da massa pelo quadrado da velocidade. A frase anteriormente transcrita significaria, pois, o seguinte: a energia posta em liberdade em virtude, da dissolução de um equivalente de zinco no ácido clorídrico diluído, igual a um determinado número de calorías, é também equivalente à metade do produto da massa dos íons pelo quadrado da velocidade com que são atraídos pelos metais. Assim apresentada, a frase é, à primeira vista, inexata; a força viva que resulta da migração dos íons, está muito longe de ser equivalente à energia posta em liberdade pelo processo químico (III). Mas, se o fosse, nenhuma corrente seria possível, porque não restaria nenhuma energia livre no resto do circuito. Por esse motivo, acrescenta-se de passagem, a observação de que os íons chegam ao repouso, quer formando uma combinação, quer se pondo em liberdade". Mas se a perda de energia deve abranger também as transformações de energia que se realizam nos dois processos, então ficamos definitivamente atolados. Porque ambos esses processos são exatamente aqueles aos quais devemos toda a energia que se vai pondo em liberdade; de sorte que não se pode absolutamente falar em perda, mas sim em aquisição.

É, portanto, evidente que Wiedemann, naquela sua frase, não pensou em nada de concreto e que a *perda de energia* significa apenas o *deus ex machina* que lhe possibilite o salto mortal que o transfira da velha , teoria do contato à explicação da corrente por efeito químico. Efetivamente, a perda de energia realizou aquilo de que fora encarregada, e agora está despedida; daqui por diante, o processo químico, na cadeia, passa a ser considerado como

única fonte energética de produção da corrente; e o único recurso que resta ao nosso autor é procurar um meio de livrar-se, com bons modos, do que ainda resta da tentativa de produzir eletricidade por meio do contato de corpos quimicamente indiferentes, ou seja, por intermédio da pretendida força de separação elétrica que atua no local de contato entre ambos os metais.

Quando se lê a explicação de Wiedemann a respeito da corrente elétrica, anteriormente transcrita, chega-se a acreditar que temos diante dos olhos um trecho dessa apologética com que os teólogos crentes e semicrentes enfrentavam, há cerca de quarenta anos, a crítica fisiológico-histórica da Bíblia, levada a efeito por Strauss, Wilke, Bruno Bauer e outros. O método é exatamente o mesmo. É forçoso que seja. Porque, em ambos os casos, trata-se de salvar a *tradição* em face da ciência pensante. O empirismo exclusivo que só permite que se pense, quando muito, sob a forma do cálculo matemático imagina estar manipulando fatos inegáveis. Na realidade, porém, manipula preferentemente idéias recebidas de outrem, produtos do pensamento de seus predecessores, na sua maioria superados, tal como eletricidade positiva e negativa, força de separação elétrica e teoria do contato. Isso lhe serve para intermináveis cálculos matemáticos, por meio dos quais se torna possível esquecer, na severidade das fórmulas matemáticas, a natureza hipotética dos pontos de partida. O quanto tem de cética essa classe de empirismo, em face dos resultados do pensamento contemporâneo, possui também de crédula em face do pensamento de seus predecessores. Até mesmo os fatos experimentalmente demonstrados, para ele são considerados inseparáveis, em geral, das correspondentes elucubrações tradicionais. O fenômeno elétrico mais simples é falsificado ao ser explicado, por exemplo, por meio do contrabando das eletricidades. Essa classe de empirismo já *não pode* descrever corretamente os fatos, porque a interpretação tradicional está oculta por baixo dessa mesma descrição. Numa palavra: nos defrontamos, no domínio da teoria da eletricidade, com a tradição desenvolvida à semelhança do que se passa com a teologia; e, como em ambos domínios, os resultados das novas investigações (a determinação de fatos desconhecidos ou discutidos e as conclusões teóricas que deles são necessariamente deduzidas), golpeiam inexoravelmente a face das velhas tradições, ficando os defensores das mesmas num beco sem saída. Devem refugiar-se em toda a espécie de escapatórias, recorrer a tergiversações insustentáveis e à dissimulação de contradições irreduzíveis e, dessa forma, acabam enredados, eles próprios, em contradições para as quais não há nenhuma solução. É essa crença na velha teoria sobre a eletricidade o que arrasta Wiedemann para uma insanável contradição consigo mesmo, já que se apegava à desesperada tentativa de conciliar racionalmente a velha explicação da corrente por meio da força de contato, com a nova concepção baseada na energia química posta em liberdade.

Objetar-se-á, talvez, que a crítica anterior à explicação de Wiedemann sobre a produção de

corrente baseia-se em malabarismos verbais; que, embora Wiedemann se manifeste a princípio um tanto negligente e inexato, chega por fim a uma exposição correta do fenômeno, concordante com a lei da conservação da energia; e que, assim sendo, fica reabilitado. A esse respeito, damos em seguida outro exemplo: a descrição que faz ele do processo que se realiza na cadeia zinco, ácido sulfúrico diluído, cobre.

"Se unirmos ambas as chapas por meio de um fio, então é gerada uma corrente galvânica... *Através do processo eletrolítico*, desprende-se da *água* do ácido sulfúrico diluído, do lado do cobre, um equivalente de hidrogênio que se escapa em borbulhas; e do lado do zinco, forma-se um equivalente de oxigênio, que oxida o zinco, constituindo o óxido de zinco, que se dissolve no ácido circundante sob a forma de sulfato de zinco" (I, págs. 592/593).

Para que haja desprendimento de hidrogênio e de oxigênio da água, é necessária, para cada molécula de água, uma energia equivalente a 68.924 calorías. E, donde provém, na citada cadeia, essa energia? "Do processo eletrolítico". E onde vai buscá-la o *processo eletrolítico*? Não há resposta à pergunta.

No entanto, Wiedemann nos diz, e não uma vez, mas duas (I, págs. 472 e 614), que "segundo novas experiências, a própria água não é decomposta" e sim, em nosso caso, apenas o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que se decompõe, por um lado em H_2 e, pelo outro, $SO_3 + O$, perdendo, em determinadas circunstâncias, H_2 e O que escapam em estado gasoso. Mas, em vista disso, modifica-se inteiramente a natureza do processo (H_2) do H_2SO_4 é diretamente substituído pelo zinco (que é bivalente), formando sulfato de zinco ($ZnSO_4$). Ficam livres, por um lado H_2 e, pelo outro, $SO_3 + O$. Ambos os gases se desprendem nas mesmas proporções em que formam água; o SO_3 se combina com a água da solução H_2O , voltando a formar H_2SO_4 , isto é, ácido sulfúrico. Mas, quando se forma $ZnSO_4$, desenvolve-se uma quantidade de energia suficiente, não só para desalojar e pôr em liberdade o hidrogênio do ácido sulfúrico, mas também para deixar um considerável excedente que, em nosso caso, é utilizado para a formação de corrente. O zinco não espera, pois, até que o processo eletrolítico ponha a sua disposição oxigênio livre, para, primeiro oxidar-se e, depois, dissolver-se no ácido. Dá-se exatamente o contrário: entra diretamente no processo, que só consegue realizar-se devido a *essa intervenção do zinco*.

Vemos, assim, como concepções químicas antiquadas acodem em ajuda das antiquadas concepções a respeito do contato. De acordo com as teorias mais modernas, o ácido é um sal em que o hidrogênio substitui um metal. O processo aqui examinado confirma essa noção: o deslocamento direto do hidrogênio pelo zinco explica o desenvolvimento de energia. A velha concepção, adotada por Wiedemann, considera um sal como sendo a combinação de um óxido metálica com um ácido; e, por essa razão, fala ele em óxido de zinco sulfoácido, em vez de

sulfato de zinco. Mas, a fim de chegar, em nossa cadeia de zinco e ácido sulfúrico, a esse óxido de zinco sulfoácido, o zinco deve ser, primeiramente, oxidado. Para que seja possível oxidar o zinco com suficiente rapidez, é necessário haver oxigênio livre. Para se conseguir oxigênio livre, temos que supor - uma vez que aparece hidrogênio do lado do cobre - que a água seja decomposta. E para decompor a água, se torna necessária uma enorme quantidade de energia. Como conseguí-la? Simplesmente "pelo processo eletrolítico" que, por sua vez, não pode ser posto em movimento enquanto seu produto químico final, o "óxido de zinco sulfoácido", não tenha começado a se formar. Vemos, assim, que a criação deve dar à luz a sua mãe.

De sorte que, também neste caso, todo o processo é completamente invertido por Wiedemann e posto de pernas para cima. Tudo isso porque Wiedemann mistura, sem mais nem menos, a eletrólise ativa e a passiva, dois processos inteiramente opostos, delas fazendo uma só eletrólise pura e simples.

Até agora examinamos apenas o que acontece na cadeia, isto é, aquele processo em que, devido à ação química, é posto em liberdade um excedente de energia, sendo este convertido em eletricidade por intermédio dos dispositivos da cadeia. Mas esse processo pode ser invertido: a eletricidade da corrente contínua obtida, na cadeia, em virtude da energia química, pode, por sua vez, ser reconvertida em energia química, através da célula de decomposição intercalada no circuito. Ambos os processos são evidentemente opostos: se concebermos o primeiro como químico-elétrico, o segundo será eletroquímico. Ambos podem desenvolver-se no mesmo circuito e nos mesmos corpos. Assim é que uma pilha de elementos gasosos, cuja corrente resulta da combinação de hidrogênio e de oxigênio na água, pode fornecer, por meio de uma célula de decomposição intercalada, hidrogênio e oxigênio nas mesmas proporções em que entram na formação da água. A maneira corrente de encarar esses fenômenos, confunde esses processos em uma só expressão: eletrólise, não distinguindo sequer a eletrólise ativa da passiva, não fazendo distinção entre um líquido excitante e um eletrólito positivo. Assim é que Wiedemann encara a eletrólise em geral, ao longo de 143 páginas, acrescentando finalmente algumas considerações sobre "eletrólise na cadeia" sendo que só merece pequena parte das dezessete páginas desse capítulo os fenômenos referentes ao que ocorre nas cadeias real. Também na seção seguinte, Teoria da Eletrólise, nem sequer é mencionado o contraste entre a cadeia e a célula de decomposição. E se, logo depois, procurássemos, no capítulo seguinte a esse - Influência da Eletrólise sobre a Resistência de Condução e sobre a Força Eletromotriz no Circuito - alguma referência às transformações de energia no circuito, sofreríamos, por certo, um amargo desengano.

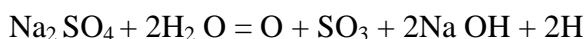
Examinemos agora esse irresistível "processo eletrolítico" que pode separar H_2 de O sem

fornecimento visível de energia e que, nesses capítulos do livro, desempenha o mesmo papel que anteriormente exerce a misteriosa "força de separação elétrica".

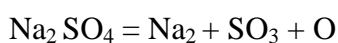
"Ao lado do processo *primário*, *puramente eletrolítico* da separação dos íons, verifica-se também um grande número de processos *secundários*, inteiramente independentes do mesmo, puramente químicos, resultantes da ação dos íons separados pela corrente. Essa ação pode ser exercida sobre a matéria dos eletródios, sobre o corpo dissociado, nas soluções e sobre o meio dissolve" (I, pág. 481). Voltemos à cadeia anterior: zinco e cobre, mergulhados em ácido sulfúrico diluído. Aqui encontraremos, segundo declaração do próprio Wiedemann, os íons H₂ e O, provenientes da água. Em consequência, deve-se ter realizado a oxidação do zinco e a formação de Zn SO₄, um processo secundário, independente do processo eletrolítico, inteiramente químico, apesar de o processo primário só ser possível em virtude deste último. Examinemos em seus detalhes a confusão que inevitavelmente se tem de produzir em virtude dessa inversão do verdadeiro processo.

Atenhamo-nos, em primeiro lugar, aos chamados processos secundários na célula de decomposição, da qual Wiedemann nos apresenta alguns exemplos (Págs. 481/482) (IV).

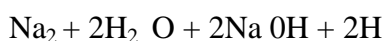
I) - Eletrólise de Na₂ SO₄, dissolvido em água. Este se "dissocia... em equivalente de SO₃ + O e 1 equivalente de Na... Mas este último reage sobre a água e desprende equivalente de H, ao mesmo tempo que se forma equivalente de sódio, que se dissolve na água circundante". A fórmula é:



Neste exemplo, a dissociação seguinte:



poderia ser concebida, na realidade, como o processo primário, eletroquímico, e a ulterior:



como um processo secundário, puramente químico. Mas esse processo secundário, origina-se diretamente no eletrodo em que aparece o hidrogênio posto em liberdade. A importante quantidade de energia (11.810 calorías por equivalente de Na, O e H, segundo Julius Thomsen) se converte, por isso, em eletricidade, pelo menos em sua maior parte; e apenas se transforma diretamente em calor. Mas este último pode também resultar da energia química

posta em liberdade, direta ou indiretamente, na cadeia. Mas a quantidade de energia assim disponível e transformada em eletricidade tem que ser subtraída porque deve prover a corrente para que se dê a dissociação constante $\text{Na}_2 \text{SO}_4$. Se a conversão do sódio em hidróxido pareceu, no primeiro momento, um processo secundário do conjunto, a partir do segundo momento torna-se um fator essencial no processo do conjunto e deixa, portanto, de ser secundário.

Mas, na célula de dissociação, realiza-se um terceiro processo: SO_3 se combina $\text{H}_2 \text{O}$, formando $\text{SO}_4 \text{H}_2$ (ácido sulfúrico), caso não entre em combinação com o metal do eletrodo, pondo outra vez energia em liberdade. Essa combinação não se efetua diretamente no eletrodo, e a quantidade de energia posta em liberdade (21.320 calorias, J. Thomsen) se transforma assim, na própria célula, toda ou em sua maior parte, em calor, cedendo à corrente, quando muito, uma pequena parte de sua eletricidade. De maneira que o único produz na célula, nem sequer é mencionado por Wiedemann.

II) - "Se eletrolisarmos uma solução de sulfato de cobre, entre um elemento eletrodo positivo de cobre e outro negativo da platina, então, com a dissociação simultânea de ácido sulfúrico na mesma corrente, separa-se, no eletrodo de platina, 1 equivalente de cobre por cada equivalente de água dissociada; no eletrodo positivo deveria aparecer 1 equivalente de ácido sulfúrico; mas este se combina com o cobre, formando Cu SO_4 , que se dissolve na água da solução eletrolisada".

Devemos traduzir o processo, em linguagem química moderna, da seguinte maneira: na platina se deposita cobre; o SO_4 livre que, como tal, não pode subsistir, se decompõe em $\text{SO}_3 + \text{O}$ e este último escapa; SO_3 toma da água da solução $\text{H}_2 \text{O}$ e forma $\text{H}_2 \text{SO}_4$ que volta a combinar-se com o cobre do eletrodo, pondo H_2 em liberdade. Temos assim, falando corretamente, três processos: 1º.) - separação de Cu e SO_4 ; 2º.) - $\text{SO}_3 + \text{O} + \text{H}_2 \text{O} = \text{SO}_4 + \text{O}$; 3º.) - $\text{H}_2 \text{SO}_4 + \text{Cu} = \text{Cu SO}_4 + \text{H}_2$. A primeira vista, o primeiro pode parecer primário e os outros secundários. Mas, se investigarmos as transformações, de energia, verificamos que o primeiro é totalmente compensado por uma parte do terceiro; a separação do cobre de SO_4 se verifica devido a sua combinação com o outro eletrodo. Se prescindirmos da energia necessária para transferir o cobre de um para o outro eletrodo; e igualmente da inevitável perda de energia na cadeia (o que não pode ser determinado com exatidão, devido à conversão de uma parte em calor) verifica-se aqui o caso de que o chamado processo primário não subtrai nenhuma energia à corrente. A corrente fornece energia unicamente para que se torne possível a dissociação de H_2 e O que (faz-se necessário acrescentar) é invertida e se apresenta como o resultado real de todo o processo, isto é, da realização de um processo secundário e outro terciário.

Em ambos os exemplos anteriores, como também em outros casos, a distinção entre processos primários e secundários tem, no entanto, uma certa e inegável justificação. Assim é que, nos dois casos, a água parece que se decompõe; e que os elementos componentes da água se desprendem nos eletródios opostos. Considerando que, segundo as mais recentes experiências, a água quimicamente pura se aproxima, tanto quanto possível, do ideal de um corpo não condutor (isto é, de um corpo que não pode ser eletrólito), é importante assinalar que neste e em muitos outros casos semelhantes, a água não é diretamente dissociada, durante a eletrólise, mas sim que os elementos da água são desprendidos do ácido, mesmo quando a água deve participar da formação desse ácido.

III) - "Se eletrolisarmos, ao mesmo tempo, em dois tubos... ácido clorídrico... e se usarmos zinco num dos eletródios e cobre no outro, no primeiro tubo se dissolve uma quantidade de 32,53 de zinco e, no segundo, uma de 2 X 31,7 de cobre".

Deixemos o cobre de lado, por enquanto, e cuidemos do zinco. Como processo primário, admitamos a dissociação de HCl e, como elemento to secundário, a dissolução de Zn.

Segundo essa concepção, a corrente fornece à célula de dissociação a energia necessária para a separação de H e Cl; e, depois de se haver realizado essa separação, Cl se combina com Zn, ficando em liberdade uma quantidade de energia que é subtraída da necessária para a separação de H e Cl, de maneira que a corrente precisa apenas fornecer a diferença. Até agora tudo vai muito bem; mas, se examinarmos mais de perto ambas as quantidades de energia, verificaremos que aquela posta em liberdade para a formação de Zn Cl₂, é maior que a consumida para decompor 2H Cl; e que, portanto, a corrente não só está dispensada de fornecer qualquer quantidade de energia, como também, pelo contrário, *recebe energia*. Assim sendo, já não temos perante nós um eletrólito passivo, mas sim um líquido excitante; não temos nenhuma célula de dissociação, mas sim uma cadeia que reforça, com um elemento. a pilha formadora da corrente. O processo que devíamos considerar como secundário se nos apresenta como absolutamente primário: é ele a fonte de energia do processo de conjunto, tornando-o independente da corrente que recebe da pilha.

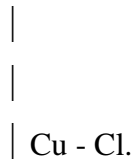
Vemos agora, claramente, qual a origem de toda a confusão que reina ao longo da exposição teórica de Wiedemann. É que ele parte da eletrólise; que esta seja ativa ou passiva, cadeia ou célula de dissociação pouco lhe importa; uma caixa de ataduras é uma caixa de ataduras, como dizia o major ao doutor em filosofia, que prestava o serviço militar de um ano. E, como a eletrólise, na célula de dissociação, é muito mais fácil de estudar do que na cadeia, Wiedemann toma como ponto de partida a célula de dissociação e transforma os processos que nela se realizam (de sua distinção, em parte justificada, em primários e secundários) em medida dos processos exatamente inversos que se sucedem na cadeia. E, nem sequer percebe

quando a célula de decomposição se converte em cadeia. E, por esse motivo, pode formular o seguinte princípio: "A afinidade química dos corpos não dissociados pelos eletródios não exerce influência sobre o processo eletrolítico propriamente dito" (pág- 471), princípio que, como já vimos, é inteiramente falso sob essa forma absoluta. Daí provém sua tríplice teoria sobre a formação de corrente: em primeiro lugar, a da velha tradição, por meio do contato puro e simples em que, de modo inexplicável, a corrente procura em si mesma ou no processo eletrolítico" a energia necessária para separar H de Cl, na cadeia, e mais ainda para produzir a corrente; e finalmente, a moderna eletroquímica, que estabelece como fonte dessa energia a soma algébrica de todas as ações químicas que se verificam na cadeia. Como ele não percebe que a segunda explicação destrói a primeira, não suspeita também que a terceira invalida a segunda. Pelo contrário, o princípio da conservação de energia é justaposto, dum forma superficial, à velha teoria, transmitida pela rotina, como um novo princípio geométrico fica ligado aos anteriores. Nem de leve se suspeita que esse novo princípio torna imprescindível uma total revisão dos pontos de vista tradicionais, neste como em todos os domínios das ciências naturais. Por essa razão, Wiedemann limita-se apenas a tomar nota da inovação, ao explicar a formação da corrente; e, em seguida, põe a mesma de lado, tranqüilamente, para voltar a aplicá-la novamente, no fim do livro, no capítulo que trata do rendimento de trabalho da corrente. Ainda no que se refere à teoria da produção de eletricidade por meio do contato, (I, pág. 781 e seg.) a conservação da energia não desempenha nenhum papel no que diz respeito ao ponto principal, sendo apenas levada em consideração com o fim de esclarecer alguns pontos secundários; para ele, trata-se, decididamente, de "um processo secundário".

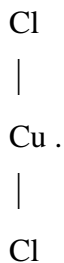
Voltemos ao anterior exemplo III. Ali se eletrolisa, com a mesma corrente, ácido clorídrico em dois tubos em U, mas usando, em um, zinco e, noutro, cobre como eletródios positivos. Segundo a lei fundamental em eletrólise, estabelecida por Faraday, a mesma corrente elétrica dissocia, em cada célula, quantidades equivalentes em ambos os eletródios; e as quantidades das substâncias separadas em ambos os eletródios, estão também na mesma proporção de suas valências (I, pág. 470). Verifica-se, então, que, no primeiro tubo, se dissolveu uma quantidade de 32, 53 e, no segundo, uma de 2 X 31,7. E Wiedemann acrescenta: "Mas isso não constitui nenhuma prova da equivalência dos referidos valores. Os mesmos só se observam no caso de correntes muito pouco densas com formação de cloreto de zinco... de um lado e de cloreto de cobre... do outro lado. Com correntes mais densas, a quantidade de cobre dissolvido, para a mesma de zinco, desceria até 31,7... com formação de quantidades crescentes de cloreto".

É sabido que o zinco realiza uma única combinação com o cloro: o cloreto de zinco; o cobre, entretanto, realiza duas: o cloreto cúprico (Cu Cl_2) e o cloreto cuproso ($\text{Cu}_2 \text{Cl}_2$). O processo insiste, pois, em que a corrente débil (e não a "pouco densa") absorve, por cada dois átomos

de cloro dos eletródios, dois de cobre, os quais se mantêm unidos entre si por uma de suas valências enquanto as outras duas que ficam livres se unem a dois átomos de cloro:



| Cu - Cl. Se, entretanto a corrente se tornar mais forte, absorve os átomos de cobre inteiramente, uns dos outros; e cada um, por si, se combina com dois átomos de cloro:



Com correntes de intensidade média, são conjuntamente produzidas ambas as combinações. É, portanto, a intensidade da corrente o que determina a formação de uma ou outra combinação; e o processo, por isso, é essencialmente eletroquímico, se é que essa palavra tem algum sentido. No entanto, Wiedemann o considera secundário, isto é, não eletroquímico, mas sim exclusivamente químico.

A experiência citada é de Renault (1867) e pertence a uma série de experiências semelhantes, nas quais a mesma corrente foi conduzida. por um tubo em U, através de uma solução de sal comum (eletrodo positivo, zinco); e, noutra célula através de eletródios variados, tendo diferentes metais como eletródios positivos. As quantidades dissolvidas de outros metais, relativamente a um equivalente de zinco, diferem muito entre si; e Wiedemann dá os resultados de toda a série, mas os que são realmente químicos se tornam evidentes, não podendo sê-lo de outra maneira. Assim, se dissolveu em ácido clorídrico, por um equivalente de zinco, apenas 2/3 de equivalente de ouro. Isso não é surpreendente senão quando nos aferramos, como Wiedemann, às velhas equivalências e aprontamos como fórmula do cloreto de zinco Zn Cl , na qual o zinco aparece, da mesma forma que o cloro, com uma *única*

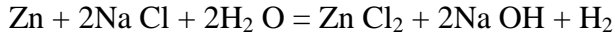
valência. A verdade é que, a cada átomo de zinco correspondem dois de cloro; e, quando conhecemos essa fórmula, sabemos, que, com aquela maneira de representar as equivalências, devemos tomar, como unidade, o átomo de cloro e não o de zinco. Mas a fórmula do cloreto de ouro é Au Cl_3 : donde se torna evidente que 3 Zn Cl_2 contém exatamente a mesma quantidade de cloro que 2 Au Cl_3 . Portanto, todos os processos, tanto primários como secundários e terciários da cadeia, serão forçados a converter em cloreto de ouro apenas $2/3$ de uma parte-peso (6) de ouro por cada parte-peso de zinco. Isso prevalece de maneira absoluta, a não ser que o Au Cl_3 (7) pudesse também formar-se pela via galvânica; nesse caso, teriam que ser dissolvidas até duas equivalências de ouro por cada equivalência de zinco (para a formação de um cloreto áureo, com um só átomo de cloro por cada átomo de metal); e poderiam verificar-se as mesmas variações, segundo a força da corrente, que as resultantes do cloro com o cobre. O mérito das experiências de Renault consiste precisamente em que demonstram, como a lei de Faraday é confirmada por fatos que aparentemente a contradizem. Mas até que ponto podem contribuir para esclarecer os processos secundários, na eletricidade, não é possível prever.

O terceiro exemplo tomado de Wiedemann, conduzia-nos, de novo, da célula de dissociação à cadeia. Na realidade, a cadeia oferece o maior interesse quando analisamos os processos eletrolíticos em relação com as transformações de energia que os acompanham. Assim nos defrontamos, não poucas vezes, com cadeias cujos processos químicos parecem efetuar-se em contradição frontal com a lei da conservação da energia e contra a afinidade química.

Segundo os cálculos de Poggendorf, a cadeia zinco - solução concentrada de sal comum - platina, produz uma corrente de intensidade , igual a 134,6. Obtemos assim uma quantidade respeitável de energia elétrica, $1/3$ a mais que num elemento de Daniell. Donde procede, neste caso, a energia que se apresenta como eletricidade? O processo *primário* é o deslocamento do sódio pelo zinco, segundo a combinação clássica. Mas, na química corrente, o zinco não desloca o sódio; mas sim, inversamente, o sódio é que desaloja o zinco em suas combinações, quer sejam clóricas ou outras. O processo *primário*, longe de poder dar à corrente a citada quantidade de energia, necessita, pelo contrário, para produzir-se, um suprimento de energia vindo da parte externa. De modo que, apenas com o processo primário, voltamos à estaca zero. Examinemos melhor em que consiste o verdadeiro processo. Verificaremos então que a combinação não é:



mas, sim



Em outras palavras: o sódio não se desprende em liberdade, no eletrodo negativo, mas sim hidroxidado, como no exemplo anterior (I, págs. 571-737).

Para calcular as produções de energia obtidas, os estudos de Thomsen nos fornecem, pelo menos, alguns pontos de referência. Segundo ele, temos energia posta em liberdade, conforme as seguintes combinações:

| | | |
|---|------------------|----------|
| (Zn Cl ₂) = 97.210; (ZnCl ₂ , água) 15.630, num total para o cloreto de zinco dissolvido.....= | 112.840 | calorias |
| 2 (Na, O, H, água) | = <u>223.620</u> | " |
| | 336.460 | " |

A deduzir desse total, devido ao consumo nas dissociações:

| | | |
|--------------------------------|------------------|----------|
| 2 (Na, O, H, água) | = 193.020 | Calorias |
| 2 (H ₂ , O) ""..... | = <u>136.740</u> | “ |
| | 329.740 | " |

Excedente de energia em liberdade= 6.720 calorias.

Essa quantidade é evidentemente pequena em relação à força da corrente, mas é suficiente para esclarecer, por um lado, a dissociação do sódio e do cloro e, por outro, a formação da corrente.

Temos aí um exemplo convincente de que a distinção que se pretende fazer entre processos primários e secundários é inteiramente relativa, podendo levar-nos ao absurdo, caso a consideremos como absoluta. O processo eletrolítico primário, além de não poder dar origem a corrente de espécie alguma, nem sequer é capaz de realizar-se por si mesmo. O processo secundário, considerado como puramente químico, é exatamente aquele que torna possível a realização do primeiro e, além disso, fornece todo o excedente de energia necessária à formação da corrente. Fica assim demonstrado ser ele, na realidade, o primário; e fica provado

ser este o secundário. Quando Hegel, por meio do raciocínio dialético, convertia no contrário as concepções e leis imaginárias dos metafísicos e dos naturalistas metafisicantes, dizia-se que ele lhes havia revirado as palavras dentro da boca. Mas quando a Natureza procede da mesma forma que o velho Hegel, parece que já é tempo, na verdade, de examinar a coisa mais de perto.

Com maior fundamento ainda, podem ser considerados como secundários os processos que desenrolam em consequência do processo químico-elétrico da cadeia (mas independentes e isolados deles) e que se efetuam a certa distância dos eletródios. As transformações de energia que se verificam nessa espécie de processos secundários não intervêm, em consequência, no processo elétrico: não subtraem, nem fornecem energia. Essa classe de processos se verificam freqüentemente na célula de dissociação; mais acima podemos encontrar um, no exemplo I, onde se verifica a formação de ácido sulfúrico, durante a eletrólise do sulfato de sódio. Nesse caso, porém, eles não merecem maior atenção. Pelo contrário, na cadeia, o seu apartamento é de maior importância prática. Por isso que, mesmo quando não subtraem ou não fornecem diretamente energia ao processo químico-elétrico, alteram, entretanto, a soma total de energia disponível na cadeia, afetando-a, assim, diretamente.

A esse grupo pertencem (além das transformações químicas residuais, ordinárias) os fenômenos que se manifestam quando os íons que se desprendem dos eletródios adquirem outro estado que não aquele sob o qual se apresentam comumente neles, sendo que só passam a esse novo estado depois de se haverem afastado dos eletródios. Os íons podem, então, adquirir outra densidade e outra forma de agregação. Mas, podem, também, sofrer transformações importantes no que se refere a sua constituição molecular, sendo esse caso o mais interessante. Em todos esses casos, às modificações químicas ou físicas verificadas nos íons (as quais se produzem a uma certa distância dos eletródios), corresponde uma semelhante mudança de temperatura: quase sempre é posto calor em liberdade, mas às vezes é ele absorvido. Essa mudança de temperatura se limita, por certo, no princípio, ao local em que se produz: o líquido da cadeia ou a célula de dissociação se aquece ou esfria, ao passo que o resto do circuito conserva a mesma temperatura. Por isso, esse calor é denominado calor *local*. A energia química posta em liberdade e disponível para ser convertida em eletricidade, aumenta ou diminui na mesma proporção desse calor local, positivo ou negativo. Em uma cadeia constituída de água oxigenada e ácido clorídrico, $\frac{2}{3}$ de toda a energia posta em liberdade foram consumidos sob a forma de calor; o elemento de Grove, pelo contrário, esfriava-se notadamente e trazia assim, ao circuito de corrente, energia de fora devido a essa absorção de calor. Verifica-se, portanto, que também esses processos secundários repercutem sobre os primários. Podemos colocar-nos na posição que quisermos: a distinção entre

processos primários e secundários é sempre relativa e, por meio da interação de ambos, volta a ser continuamente abandonada. Se não levarmos isso em conta, se encararmos essas oposições relativas como sendo absolutas, somos irremediavelmente enredados em contradições, tal como vimos.

Na separação eletrolítica de gases, os eletródios metálicos cobrem-se de uma delgada camada gasosa; em consequência disso, a intensidade da corrente diminui até que o eletrodo fique saturado de gás (o quanto lhe é possível reter por adesão), depois do que a corrente debilitada se mantém constante. Favre e Silbermann demonstraram que, numa célula de decomposição dessa espécie, também se produz calor, o que só pode acontecer devido a que os gases, nos eletródios, não são postos em liberdade no estado sob o qual se apresentam comumente, mas passam a esse estado comum somente depois de se desprenderem dos eletródios; e isso, através de um processo em que há, ao mesmo tempo, desprendimento de calor. Mas, em que estado são esses gases postos em liberdade no eletrodo? Não é possível manifestar-se, a esse respeito, mais prudentemente do que o faz Wiedemann, denominando-o "certo estado", "alotrópico" e, finalmente, quanto ao oxigênio "ozonizado". Quando se refere ao hidrogênio, fala mais misteriosamente. Em certos trechos, deixa transparecer a idéia de que o ozônio e o peróxido de hidrogênio são as formas sob as quais se manifesta esse estado "ativo". O ozônio persegue de tal maneira o nosso autor, que ele chega ao ponto de procurar explicar as propriedades extremamente eletronegativas de certos peróxidos, dizendo que "possivelmente eles contêm uma parte de oxigênio em estado *ozonizado!*" (I, pág. 57). Seguramente, durante a chamada substituição da água, formam-se tanto ozônio como o peróxido de hidrogênio, mas só em pequenas quantidades. Carece de todo fundamento a suposição de que o calor local pode proceder, no caso anterior, do aparecimento e, logo depois, da decomposição de grandes quantidades dessas combinações. Não conhecemos o calor de formação do ozônio, que é constituído pela união entre si de três átomos de oxigênio O_3 (ao invés de dois que constituem o oxigênio comum). O do peróxido $H_2 O$ (em estado líquido) + O é, segundo Bertelot, igual a - 21.480. O aparecimento dessa combinação em grandes quantidades, condicionaria, pois, um forte suprimento de energia (mais ou menos 30% da necessária para a dissociação de $H_2 O$) que teria de ser notável e verificável. Finalmente, o ozônio e o peróxido de hidrogênio absorveriam apenas o oxigênio (desde que prescindíssemos das inversões de corrente nas quais ambos os gases se juntariam no mesmo eletrodo), mas não absorveriam o hidrogênio. E, no entanto, este também se desprende sob um estado "ativo": no dispositivo munido de uma solução de nitrato de potássio, entre dois eletródios de platina, combina-se diretamente com o nitrogênio desprendido, formando amoníaco.

Todas essas dificuldades e causas de cavilações não existem na realidade. Desprender corpos

"em estado ativo" não constitui monopólio do processo eletrolítico. Qualquer decomposição química produz o mesmo resultado. Ela separa, primeiro, o elemento posto em liberdade sob a forma de átomos livres O, H, N etc., que, só depois de sua libertação, podem combinar-se em moléculas O₂, H₂, N₂; e, ao se combinarem dessa forma, cedem uma certa quantidade de energia, até agora não determinada (8), que se manifesta sob a forma de calor. Mas durante o instante infinitesimal em que os átomos ficam livres, são portadores de toda a energia que podem conter em si; e, na posse de sua energia máxima, possuem a faculdade de entrar em qualquer combinação que lhes seja oferecida. Encontram-se, assim, "em um estado ativo", relativamente às moléculas de O₂, H₂, N₂. Estas já terão cedido uma parte de sua energia e não poderão entrar em combinação, sem que essa quantidade de energia cedida lhes seja fornecida de fora para dentro. Não é, pois, de maneira nenhuma, necessário refugiar-nos no ozônio ou no peróxido de hidrogênio, já que eles também são produtos desse estado ativo. Podemos, por exemplo, realizar, por simples via química, sem cadeia, a já citada formação de amoníaco (na eletrólise com nitrato de potássio), se juntamos ácido nítrico, na solução de um nitrato, a um líquido em que o hidrogênio seja posto em liberdade por qualquer processo químico. O estado ativo do hidrogênio é o mesmo em ambos os casos. O interessante no processo eletrolítico é que, nele, a brevíssima existência dos átomos livres se torna, por assim dizer, quase palpável. O processo se divide, neste caso, em duas fases: a eletrólise entrega os átomos livres aos eletródios; mas a sua combinação em moléculas se realiza a certa distância dos mesmos. Por ínfima e imperceptível que seja mas distância relativamente as relações de massa, ela é suficiente para impedir, pelo menos em sua maior parte, a utilização da energia, posta em liberdade ao se formarem as moléculas para a produção de eletricidade, e conseguir assim sua transformação em calor: o calor local da cadeia. Dessa maneira fica demonstrado que os elementos se desprenderam na qualidade de átomos livres e, por um momento, existiram como átomos livres na cadeia. Este fato, que não poderemos determinar, na química pura, senão por meio de conclusões teóricas (9), nos é demonstrado agora experimentalmente, na medida em que isso é possível sem percepção sensorial dos próprios átomos e moléculas; e nisso consiste o alto significado científico do chamado calor local na cadeia.

A transformação da energia química em eletricidade, por intermédio da cadeia, é um processo sobre cujo desenvolvimento quase nada, sabemos; e provavelmente, só chegaremos a saber alguma coisa mais quando for melhor conhecido o *modus operandi* do próprio movimento elétrico.

Atribui-se à cadeia uma "força de separação elétrica" H que, em cada cadeia, possui um grau determinado. Como já vimos, no princípio, Wiedemann admite que essa força de separação não é uma forma de energia. Pelo contrário, em princípio, não é mais do que a capacidade, a

propriedade da cadeia, de converter em eletricidade determinada quantidade de energia, na unidade de tempo. Essa energia química, por sua vez, não toma nunca a forma de "força de separação elétrica", durante todo o desenvolvimento do processo; pelo contrário, imediata e diretamente, se apresenta sob a forma do que se denomina "força eletromotriz", isto é, de movimento elétrico. Isso porque, quando na vida ordinária nos referimos à força de uma máquina a vapor, queremos dizer que a mesma pode converter em movimento, na unidade de tempo, determinada quantidade de calor; mas isso não nos autoriza a introduzir, na ciência, essa confusão de conceitos. Com igual fundamento, poderíamos nos referir à força de uma pistola, de uma carabina ou de um fuzil porque, com a mesma carga de pólvora, alcançam diferentes distâncias. Nesse caso, salta claramente à vista o absurdo da designação. Toda gente sabe que é a explosão da carga de pólvora que impulsiona o projétil; e que a diferença de alcance da arma depende apenas do maior ou menor desperdício de energia, de acordo com o comprimento do cano, a liberdade de movimento do projétil dentro do cano e a forma do referido projétil. Pois o caso é o mesmo no que se refere à força do vapor e à força de separação elétrica. Duas máquinas a vapor (em igualdade de condições, isto é, admitindo-se que seja igual, em ambas, a energia posta em liberdade, num tempo igual), ou duas cadeiras galvânicas, nas mesmas condições, se distinguem, quanto a seu rendimento de trabalho, apenas pelo maior ou menor desperdício de energia que nelas se verifica. E, se a técnica das armas de fogo de todos os exércitos pode desenvolver-se sem levar em conta determinada força de tiro dos fuzis, a ciência da eletricidade não tem razão alguma para fazer a suposição de uma "força de separação elétrica", semelhante a essa força de tiro, força essa que não possui absolutamente nenhuma energia e que, portanto, não pode realizar, por si só, nem um milionésimo de miligrama-milímetro.

O mesmo se pode dizer em relação à segunda forma dessa "força de separação", isto é, à "força de contato" dos metais, mencionada por Helmholtz. Não é ela outra coisa que não a propriedade que possuem os metais de converterem em eletricidade, pelo contato entre si, a energia disponível sob outra forma qualquer. Ela é também uma força que não contém sequer uma parcela de energia. Se admitirmos, com Wiedemann, que a fonte de energia, na eletricidade de contato, reside na força viva do movimento de adesão, então essa energia existe, primeiramente, sob a forma desse movimento de massa; e, quando este desaparece, converte-se imediatamente em eletricidade, sem apresentar, por um momento sequer, a forma de "força de separação elétrica" que, não só não contém qualquer energia, como também, pelo seu próprio conceito, não a pode conter de maneira alguma! Essa proporcionalidade entre energia e não-energia pertence, evidentemente à mesma matemática em que figura a "relação entre a eletricidade e o miligrama". Mas, por detrás dessa idéia absurda (cuja existência é

apenas devida à concepção segundo a qual uma simples *propriedade* é apresentada como uma *força*), esconde-se uma tautologia muito simples: a capacidade que tem determinada cadeia de transformar em eletricidade a energia química posta em liberdade, mede-se... por que meio? Exatamente assim: pela quantidade de energia que reaparece no circuito, sob a forma de eletricidade, em relação com a energia química consumida pela cadeia. Eis aí.

Para poder chegar a uma força de separação elétrica, é necessário levar a sério o recurso de emergência relativo aos fluídos elétricos. Para que estes sejam transferidos de sua neutralidade para a sua popularidade, para arrancá-los, assim, um do outro, é necessário um certo gasto de energia:... a força de separação. Uma vez separadas entre si, ambas as eletricidades podem ceder a mesma quantidade de energia, ou se unirem: a força eletromotriz. Mas, como hoje em dia, ninguém considera, nem mesmo Wiedemann, as duas eletricidades como entes reais, seria, dissertar para um público já morto, se examinássemos mais detalhadamente semelhantes noções.

O erro fundamental da teoria do contato consiste em não poder ser separada da idéia segundo a qual a força de contato ou a de separação elétrica é uma *fonte de energia*, separação que se torna difícilíssima quando transformamos em uma *força* a simples propriedade que como uma *força* deve ser exatamente uma forma definida de energia; possui um aparelho de transmitir um a transformação de energia; visto como Wiedemann não consegue libertar-se dessa concepção obscura (apesar de que, ao lado dela, lhe tenham sido impostas as modernas noções a respeito da energia indestrutível e increável), é por isso levado à explicação n. 1 da corrente, a qual não tem sentido, e a todas as demais contradições que assinalamos.

Se a expressão "força de separação elétrica" constitui claramente um contra-senso, a outra, a denominada "força eletromotriz", é, pelo menos, supérflua. Tivemos motores térmicos muito tempo antes de que tivéssemos motores elétricos e, no entanto, a teoria do calor se arranja muito bem sem ter necessidade de uma força termo-motriz especial. Assim como o simples termo *calor* abrange todos os fenômenos do movimento pertencentes a essa forma de energia, o mesmo acontece com o termo *eletricidade*, no seu domínio específico. Além do mais, muitos dos efeitos da eletricidade não são, de forma alguma, "motores": a imantação do ferro, a decomposição química, a transformação em calor. E, finalmente, em toda a ciência natural, até mesmo na mecânica, constitui um progresso sempre que alguém consegue, de alguma forma, libertar-se da palavra *força* (10).

Vimos que Wiedemann não admitia, sem uma certa resistência a explicação, por meios químicos, da produção de corrente na cadeia. Essa resistência o persegue constantemente em tudo quanto se refere à teoria química, isso acontece inevitavelmente. Assim, diz ele "não está demonstrado, de maneira alguma, que a força eletromotriz seja proporcional à ação química"

(I, pág-791). É certo que não o está em todos os casos; mas, quando essa proporcionalidade não se realiza, isso prova somente que a cadeia está mal construída, que se verificam nela desperdícios de energia. Por isso mesmo, Wiedemann tem muita razão, quando, em suas deduções teóricas sobre as circunstâncias acessórias de caráter (as quais falseiam a pureza do processo), não as leva em consideração de forma alguma, e sim assegura, sem qualquer subterfúgio, que a força eletromotriz de um elemento é igual ao equivalente mecânico da ação química que nele se verifica, pela unidade de intensidade da corrente.

Noutra passagem diz ele:

“Que, na série ácido-álcali, a combinação do ácido e do álcali não constitui a causa da produção da corrente, é a conclusão a que chegamos em virtude das experiências do § 61 (de Becquerel e Fechner), do § 260 (de Dubois-Reymond) e do § 261 (Worm-Müller), segundo os quais, em certos casos, quando aqueles se encontram em quantidades equivalentes, não se produz corrente alguma; e o mesmo se pode dizer das experiências expostas no § 62 (Henrici), segundo as quais, a força eletromotriz é também produzida quando intercalamos uma solução de salitre entre uma lixívia de potassa e ácido nítrico” (I, pág. 791).

A pergunta sobre se a combinação do ácido com o álcali constitui a causa da formação de corrente, preocupa seriamente o nosso autor. A pergunta, sob essa forma, é muito fácil de responder. A combinação do ácido e do álcali é, em primeiro lugar, a causa da formação de um *sal*, com desprendimento de energia. Se essa energia pode assumir, totalmente ou em parte, a forma de eletricidade, vai depender das circunstâncias sob as quais é posta em liberdade. Por exemplo: na série ácido nítrico e solução de potassa cáustica, entre eletródios de platina (este será o caso, pelo menos em parte), e indiferente, para a formação de corrente, que se intercale ou não uma solução de salitre; porque isso poderá, quando muito, retardar a formação do sal, mas não impedi-la. Mas, se fizermos uma cadeia, como a de Worm-Müller, na qual o ácido e o álcali se encontram no meio (tendo em ambos os extremos uma solução de sal, na mesma concentração que a solução a formar-se na cadeia), não será possível certamente originar-se corrente alguma; isso porque, por causa dos segmentos terminais (já que em todas as partes se formam os mesmos corpos), não é possível produzirem-se íons. Dessa forma, foi impedida a conversão, em eletricidade, da energia posta em liberdade tão diretamente como se o circuito não fosse fechado. Deixa de ser surpreendente, portanto, o fato de que este não receba corrente alguma. Mas o fato de que um ácido e um álcali podem gerar eletricidade é demonstrado pela cadeia de carvão, ácido sulfúrico (1 em 10 de água), potassa cáustica (1 em 10 de água), carvão - a qual, segundo Roault, produz uma corrente de intensidade igual a 73 (V); e que, por meio de uma disposição adequada da cadeia, podem provocar, por sua combinação, uma intensidade de corrente correlativa à quantidade de

energia por ela posta em liberdade, isso pode ser deduzido do fato de que as mais fortes cadeias conhecidas até agora baseiam-se quase exclusivamente na formação de sais alcalinos. Tomemos alguns exemplos de Wheatstone: cadeia da platina, cloreto de platina, amálgama de zinco em vez de potássio, a corrente diminuía duma quantidade, quase igual a 100. Beetz, com uma cadeia de magnésio, solução de permanganato, lixívia de potassa, potássio metálico, obteve uma corrente de intensidade = 298,8. Joule, com platina, ácido nítrico, lixívia de potassa, amálgama de potássio, uma corrente de 302. A "causa" da geração dessas correntes excepcionalmente fortes - ele o reconhece -, é a combinação de ácido e álcali (ou o metal alcalino), e a grande quantidade de energia por ela posta em liberdade.

Algumas páginas adiante, volta ele a dizer:

“Mas é preciso levar-se em conta que a equivalência, em trabalho, de toda a ação química que se verifica no local de contato dos corpos heterogêneos, não pode ser considerada como medida direta da força eletromotriz, num circuito fechado. Quando, por exemplo, na cadeia ácido-álcali, de Becquerel (eis aqui, Crispin!) se combinam essas duas substâncias; quando, na cadeia - platina, salitre fundido, carvão -, o carvão se queima; quando, em um elemento comum, cobre, zinco impuro, ácido sulfúrico diluído, o zinco se dissolve rapidamente, com formação de correntes locais, então, uma grande parte do trabalho produzido (ou melhor, de energia posta em liberdade) nesses processos químicos... se converte em calor e, assim, é perdida para o conjunto do circuito" (II, pág- 798).

Todos esses processos nos reconduzem à perda de energia, na cadeia; em nada influi sobre o fato de que o movimento elétrico proceda de energia química que mudou de forma, mas sim sobre a quantidade de energia convertida.

Os técnicos em assuntos de eletricidade dedicaram um tempo e um labor imensos para compor as mais variadas cadeias e medir sua "força eletromotriz". O material experimental assim acumulado contém muita coisa valiosa, mas também grande soma de coisas sem valor. Que valor tem, por exemplo, as experiências em que se usa água como eletrólito, quando, conforme demonstrou agora Kohlrausch, ela é o pior condutor, isto é, o pior eletrólito (IV), razão pela qual, não é a água mas as suas conhecidas impurezas que determinam o processo? E, no entanto, quase a metade das experiências de Fechner, por exemplo, se baseiam em semelhante emprego da água, até o seu *experimentum crucis*, por meio do qual pretendia basear inamovivelmente a teoria do contato, erguendo-a sobre os escombros da teoria química. Como se pode concluir de tudo isso, em quase todas as experiências, com exceção de algumas, os processos químicos realizados na cadeia (apesar de serem a fonte dos processos denominados "eletromotores") só foram levados em conta com certa relutância. Mas há também toda uma série de cadeias, cuja composição química não nos autoriza a tirar

nenhuma conclusão segura sobre as transformações químicas que nelas se produzem depois de fechado o circuito. Pelo contrário, como diz Wiedemann (I, pág. 797), "não se pode negar que ainda não é possível, de maneira alguma, passar por alto no que se refere às atrações químicas na cadeia". Todas essas experiências carecem, portanto, de valor, sob o ponto de vista químico, cada vez mais importante, enquanto não forem repetidos e controlados esses processos.

Nessas experiências, só muito excepcionalmente são levadas em consideração as transformações de energia verificadas na cadeia. Muitas delas foram realizadas antes de ter sido reconhecida, nas ciências naturais, a lei da equivalência do movimento; e continuam passando de um manual a outro, segundo o costume, sem terem sido controladas, nem terminadas. Quando se disse que a eletricidade não possui inércia (o que tem tanto sentido como dizer-se que a velocidade não tem peso específico), de modo algum se pode sustentar o mesmo ponto de vista a respeito da teoria da eletricidade.

Consideramos, até agora, o elemento galvânico como um dispositivo em que, por consequência das relações de contato, a energia química é posta em liberdade e transformada em eletricidade, de uma forma até agora desconhecida. Apresentamos também a célula de dissociação como sendo um aparelho em que se produz o processo inverso: o movimento elétrico é convertido em energia química e consumido como tal. Por esse motivo, devemos destacar, em primeiro lugar, o aspecto químico do processo, tão descuidado pelos técnicos em eletricidade, por ser esse o único caminho para nos livrarmos da confusa mistura de noções tradicionais, derivadas da velha teoria do contato e dos fluídos elétricos. Uma vez resolvido isso, é necessário verificar se o processo químico, na cadeia, se desenvolve nas mesmas circunstâncias que fora dela; ou se, no mesmo, se apresentam fenômenos especiais, dependentes da excitação elétrica.

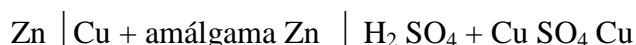
As noções inexatas são, em todas as ciências, afinal de contas (se pusermos à margem os erros de observação), noções inexatas baseadas em fatos exatos. Os fatos permanecem, mesmo quando verificamos a inexatidão das primeiras. Muito embora tenhamos sacudido fora a velha teoria do contato (como um cão sacode a água ou o pó que o incomodam), persistem no entanto os fatos verificados, esses mesmos a que essa teoria seria serve de explicação. Consideramos, então, os fatos e, por meio deles, o lado propriamente elétrico do processo que se realiza na cadeia.

Ninguém contesta o fato de que, no contato de corpos heterogêneos, com ou sem transformações químicas, se verifica uma produção de eletricidade (o que se pode verificar, conforme o caso, com o eletroscópio ou com o galvanômetro). A fonte de energia produtora desses fenômenos de movimento diminuto é difícil determinar, em cada caso isolado, como já

vimos antes; mas a existência de uma dessas fontes externas é por todos admitida.

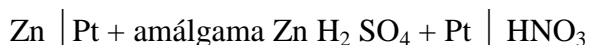
Kohlrausch publicou, em 1850/53, uma série de experiências nas quais colocou, aos pares, os diferentes componentes de uma cadeia, verificando separadamente os diferentes *eletrostáticos*: a força eletromotriz do elemento deve resultar da soma algébrica desses potenciais. Considerando a tensão Zn/Cu = 100, calculou a intensidade relativa do elemento de Daniell ou de Grove da maneira seguinte:

Daniell:



$$= 100 + 149 - 21 = 228$$

Grove:



$$= 107 + 149 + 149 = 405$$

o que coincide aproximadamente com a medição direta da intensidade de corrente desses elementos. Mas esses resultados não são nada seguros. O próprio Wiedemann chama a atenção para o fato de que Kohlrausch apenas apresenta o resultado final, "mas infelizmente nenhum dado numérico sobre as experiências, separadamente". Em segundo lugar, Wiedemann reconhece, por várias vezes, que todas as tentativas feitas para determinar quantitativamente as excitações elétricas (no caso de contato entre metais e, mais ainda, entre metal e líquido) são pelo menos muito inseguras devido às numerosas fontes de erro. Se, apesar de tudo isso, ele faz repetidos cálculos com as cifras de Kohlrausch, fazemos muito bem em não acompanhá-lo, tanto mais quanto podemos dispor de outro meio de determinação que não fica sujeito a essas objeções.

Segundo Wiedemann, se submergirmos num líquido ambas as chapas excitadoras de uma cadeia e se, em seguida, as unirmos em circuito com as extremidades de um galvanômetro, "o primeiro desvio de sua agulha magnética, antes que as reações químicas tenham modificado a intensidade da excitação elétrica, representa a medida da soma das forças eletromotrizes, no circuito". Cadeias de diferente poder darão, assim, diferentes desvios iniciais; e a amplitude de seus desvios é proporcional à intensidade da corrente relativa às respectivas cadeias.

Parece que temos, de novo, ante os olhos, "a força de separação elétrica", a "força de contato",

que fecha o movimento independentemente de qualquer ação química. E, com efeito: assim é que a teoria do contato, em seu conjunto, interpreta o fenômeno. Na realidade, há, no fato, uma relação entre a excitação e a reação química, a qual ainda não investigamos. Para chegar a ela, começaremos por examinar um pouco mais de perto a chamada lei eletromotriz; assim fazendo, verificaremos que, também neste caso, as noções tradicionais do contato, não só deixam de apresentar qualquer explicação como ainda obstruem o caminho a seguir para a sua explicação.

Se, num elemento qualquer de dois metais e um líquido, por exemplo, zinco, ácido clorídrico diluído, cobre, colocarmos um terceiro metal, sem uni-lo, por meio de um fio, ao circuito exterior, o desvio inicial do galvanômetro será, então, exatamente o mesmo que se verificaria sem a chapa de platina. Esta não atua, por conseguinte, sobre a excitação elétrica. Mas isso não pode ser expresso tão simplesmente em linguagem eletromotora. Por meio desta, se diz:

"Em lugar da força eletromotriz de zinco e cobre, no líquido entrou agora a soma das forças eletromotoras resultantes do zinco e platina, e de platina e cobre. Como o caminho das eletricidades não foi sensivelmente modificado em virtude da intercalação da chapa de platina, podemos concluir (diante da igualdade dos dados fornecidos pelo galvanômetro, em ambos os casos) que a força eletromotriz produzida pelo zinco e pelo cobre, no líquido, é igual à do zinco e platina, mais a da platina e cobre. Isso estaria de acordo com a teoria exposta por Volta, segundo a qual se verifica a excitação elétrica entre dois metais, isoladamente considerados. O resultado, que corresponde a quaisquer líquidos ou metais, pode ser expresso dizendo-se que: os metais obedecem à lei de periodicidade de suas séries, durante a sua excitação por meio de líquidos. Designa-se também essa lei pelo nome de lei *eletromotriz*" (Wiedemann, I pág. 62).

Quando se diz que a platina, nesse dispositivo, não atua como excitadora de eletricidade, está-se expressando um fato puro e simplesmente. Quando se diz, entretanto, que atua como excitadora de eletricidade, mas com uma força igual em direções contrárias (de sorte que o efeito é anulado), converte-se um fato em uma hipótese, sem outro objetivo que não o de render homenagens à "força eletromotriz". Em ambos os casos a platina desempenha o papel de testa-de-ferro.

Durante o primeiro desvio (da agulha), não existe ainda nenhum circuito. Os ácidos, não tendo sido decompostos (11), não podem conduzir; eles só o podem fazer por meio dos íons. Se o terceiro metal não atua sobre o desvio, é simplesmente porque se encontra ainda *isolado*. Como se comporta o terceiro metal *depois* de se haver estabelecido a corrente, e durante o tempo de duração da mesma?

A série de tensões, entre os metais, na maioria dos líquidos, é estabelecida pelo zinco (depois

dos metais alcalinos) mais ou menos no extremo positivo e pela platina no extremo negativo, ficando o cobre entre ambos. De sorte que, se colocarmos a platina entre o cobre e o zinco, ela se torna negativa para ambos. Se a platina atuasse de alguma forma, a corrente teria que ir do cobre e do zinco para a platina, dentro do líquido, isto é, teria que ir de ambos os eletródios na direção da platina (que se encontra isolada), o que seria uma contradição irreduzível. A condição fundamental para a atividade dos metais, na cadeia, consiste exatamente em que estejam unidos entre si através do circuito exterior. Um metal extranumerário, não unido à cadeia, figura como não condutor; não pode fornecer nem permitir que passem íons; e, sem íons, não conhecemos nenhum caso de condução de corrente, dentro dos eletrólitos. De sorte que não se trata apenas de um simples testa-de-ferro, mas sim de um verdadeiro obstáculo.

A mesma coisa se dará se ligarmos o zinco à platina e colocarmos o cobre no meio, sem união; nessa hipótese, o cobre, caso atuasse de alguma forma, daria origem a uma corrente passando do zinco para o cobre e a uma outra indo do cobre para a platina; teria ele de servir, assim, como uma espécie de eletrodo intermediário e desprender hidrogênio do lado dirigido para o zinco, o que também é impossível.

Se pusermos de lado esse modo de falar eletromotor, o caso se torna muito simples. Já tivemos ocasião de ver que a cadeia galvânica é um dispositivo em que é posta energia química em liberdade, sendo a mesma convertida em eletricidade. Consiste ela, geralmente, em um ou mais líquidos e em dois metais funcionando como eletródios, devendo estes serem unidos entre si por um condutor situado fora do líquido. Dessa forma, está montado o aparelho. Nenhuma outra coisa que ponhamos no líquido, seja metal, vidro, resina, ou o que for, poderá participar do processo químico-elétrico, na formação de corrente, enquanto não sejam provocadas alterações químicas no líquido; e, além do mais, poderá obstruir o processo. Qualquer que seja a capacidade de excitação elétrica de um terceiro metal submerso (relativamente ao líquido e a um ou outro dos eletródios da cadeia), esta não entrará em ação enquanto esse metal não for unido ao circuito fora do líquido.

Por conseguinte, não só é falsa a dedução da pretensa lei eletromotriz, estabelecida por Wiedemann, como também é falso o sentido por ele dado a essa lei. Não é possível falar-se de uma atividade eletromotriz do metal desligado da cadeia (que se compensaria a si mesma), porque essa atividade está privada, de antemão, da única condição sob a qual ela se pode exercer; nem se pode deduzir essa pretendida lei eletromotriz, baseando-a em um fato que está fora de seu domínio.

O velho Poggendorff publicou, em 1845, uma série de experiências por meio das quais mediu a força eletromotriz das mais variadas cadeias; ou melhor, a quantidade de eletricidade fornecida na unidade de tempo (12). Dentre as mesmas, são de especial valor as primeiras 27,

em cada uma das quais foram unidos três metais, um depois do outro, o mesmo líquido excitante, em três cadeias diferentes; e estas foram observadas e comparadas no que se refere à quantidade de eletricidade produzida. Como bom teórico do contato, Poggendorff também colocou um terceiro metal na cadeia, sem uni-lo; e leve a satisfação de convencer-se de que esse terceiro elemento na partida era sempre um testa-de-ferro puro e simples. A importância dessas experiências, entretanto, não consiste nisso, mas, sobretudo, no fato de que as mesmas confirmam e definem o correto sentido da intitulada lei eletromotriz.

Detenhamo-nos na primeira série de cadeias. Nelas, o zinco, o cobre e a platina, imersos em ácido clorídrico diluído, estão unidos, dois a dois, entre si. Nesse caso, Poggendorff verificou que as quantidades de eletricidade produzidas (atribuindo o valor de 100 a um elemento Daniell) eram as seguintes.

| | |
|-----------------------|---------------|
| Zinco - Cobre | = 78,8 |
| Cobre - Platina | = <u>74,3</u> |
| 1.2 Total | = 153,1 |
| | |
| Zinco - Platina | = 153,7 |

De sorte que o zinco, unido diretamente à platina, fornecia quase exatamente a mesma quantidade de eletricidade que o zinco + cobre-platina. A mesma coisa se verificava em todas as outras cadeias, com quaisquer que fossem os metais e líquidos empregados. Quando se colocam cadeias de uma série de metais, no mesmo líquido, de modo tal que, segundo a série de periodicidade correspondente a esse líquido, emprega-se um após outro o segundo, o terceiro ou quarto (metal) etc., como eletrodo negativo em relação ao que o precede, a soma das quantidades de eletricidade produzidas por todas essas cadeias é sempre igual à produzida por uma cadeia direta entre os extremos de todas as séries de metais. Em consequência disso, as quantidades de eletricidade fornecidas, na sua totalidade, pelas cadeias zinco-zinco, zinco-ferro, ferro-cobre, cobre-prata, prata-platina, seriam iguais às fornecidas pela cadeia zinco-platina. Uma pilha constituída por todos os elementos dessa série seria totalmente neutralizada, em igualdade de outras circunstâncias, por um elemento zinco-platina intercalado em direção contrária à primeira corrente.

Assim concebida, a denominada lei eletromotriz adquire uma verdadeira e grande importância. Põe a descoberto uma nova face da correlação existente entre a ação química e a elétrica. Até agora, ao investigar especialmente a fonte de energia da corrente galvânica, essa fonte dos intercâmbios químicos nos era apresentada como sendo o lado ativo do processo; a

eletricidade era por ela produzida e aparecia, assim, à primeira vista, como elemento passivo. Agora a situação se inverte. A excitação elétrica, provocada pela natureza dos corpos heterogêneos, postos em contato na cadeia, não pode acrescentar nem subtrair energia à ação química (como não acontece no caso da conversão em eletricidade da energia posta em liberdade). Mas ela pode, conforme a disposição da cadeia, acelerar ou retardar essa ação. Se a cadeia zinco-ácido clorídrico diluído-cobre fornece apenas, na unidade de tempo, metade da eletricidade fornecida à corrente pela cadeia zinco-ácido clorídrico-platina, isso quer dizer, em linguagem química, que a primeira cadeia produz apenas, na unidade de tempo, a metade de cloreto de zinco e de hidrogênio em relação à segunda. *A ação química foi duplicada, mesmo quando as condições puramente químicas tenham sido as mesmas em ambas.* A excitação elétrica se transformou em reguladora da ação química; apresenta-se agora como sendo o lado ativo e a ação química, como o passivo.

Assim se torna compreensível o fato de que toda uma série de processos, considerados antes como puramente químicos, se apresentem agora como eletroquímicos. O zinco quimicamente puro, caso seja atacado pelo ácido clorídrico diluído, sê-lo-á de maneira muito fraca; o zinco comercial comum, pelo contrário, dissolve-se rapidamente, daí resultando a formação de sal e de hidrogênio; nele há uma mistura de outros metais e carvão, distribuídos desigualmente nos diferentes pontos de sua superfície. Entre eles e o zinco, formam-se correntes locais, no meio ácido, nas quais os pontos de zinco constituem os eletródios positivos e os outros metais, os negativos, desprendendo-se destes as borbulhas de hidrogênio. Da mesma forma, é hoje considerado um fenômeno eletroquímico o fato de que o ferro, submerso em uma solução de sulfato de cobre, fique coberto de uma camada de metal, sendo esta resultante de correntes produzidas nos pontos heterogêneos da superfície do ferro.

Em virtude desse mesmo fenômeno, verifica-se também que as séries de tensão dos metais em líquidos correspondem em geral às séries em que os metais se deslocam uns aos outros de suas combinações com alógenos e com radicais ácidos. No extremo negativo, mais afastado da série de tensões, encontramos todos os metais do grupo do ouro: ouro, platina, paládio, ródio, os quais são dificilmente oxidáveis, não atacáveis, ou sendo-o apenas pelos ácidos e facilmente precipitados em seus sais por meio de outros metais. No outro extremo estão os metais alcalinos, que se comportam de maneira inteiramente oposta: são dificilmente separáveis de seus óxidos, exigindo grande consumo de energia; aparecem, na Natureza, quase unicamente sob a forma de sais e, como todos os metais, manifestam a maior afinidade pelos alógenos e os radicais ácidos. Entre ambos os anteriores, encontram-se os outros metais, em séries um tanto variáveis, mas sempre de uma forma tal que seu comportamento elétrico e químico coincidam. A posição de cada metal, na série, varia segundo os líquidos e talvez não

esteja bem determinada para nenhum líquido. É até lícito duvidar-se de que haja, para cada líquido, uma série *absoluta* de tensão entre os metais. Dois pedaços do mesmo metal podem servir, ao mesmo tempo, de eletródios positivos e negativos, em cadeias ou em células de dissociação adequadas, de maneira que o mesmo metal pode ser, simultaneamente, positivo e negativo. Nos pares termoelétricos, que convertem a eletricidade em calor (quando as diferenças de temperatura são elevadas em ambas as soldaduras), a direção da corrente é invertida: o metal anteriormente positivo se torna negativo e vice-versa. Não existe também uma série absoluta, segundo a qual os metais se deslocam de suas combinações com determinado alógeno ou radical ácido: por meio de um suprimento de energia sob a forma de calor, podemos inverter, à vontade, uma série vigente na temperatura ordinária.

Verifica-se, assim, uma notável interação entre o elemento químico e o elétrico. A ação química que, na cadeia, fornece à eletricidade a quantidade de energia necessária para a formação da corrente, por sua vez, e em muitos casos, é posta em movimento e, em todos eles, tem a sua quantidade regulada pelas tensões elétricas originadas na cadeia. Se os processos realizados na cadeia antes nos pareciam químico-físicos, vemos agora que são também eletroquímicos. Sob o ponto de vista da formação da corrente *permanente*, a ação química se apresentava como primária; sob o ponto de vista da *excitação* da corrente, apresentava como secundária, acessória. A interação exclui tudo quanto seja absolutamente primário, assim como o absolutamente secundário; pois ela é justamente um processo bilateral que, em relação a sua natureza, pode ser considerado sob dois pontos de vista diferentes. Para ser compreendida em seu conjunto, deve ser examinada sucessivamente sob esses dois pontos de vista, antes que se possa coordenar o resultado geral. Mas, caso nos afeirmos unilateralmente a um dos pontos de vista considerando-o absoluto em relação ao outro (ou se saltarmos arbitrariamente de um para o outro, conforme o exija momentaneamente o nosso raciocínio), permaneceremos encerrados na unilateralidade do pensamento metafísico; escapasse-nos a correlação de conjunto e nos deixamos enredar numa contradição após a outra.

Já tivemos ocasião de ver que, segundo Wiedemann, o desvio inicial do galvanômetro, quando submergimos as chapas de excitação no líquido da cadeia (antes que as reações químicas tenham modificado a intensidade da excitação elétrica), "constitui a medida da soma das forças eletromotrizes no circuito".

Até agora tínhamos considerado a denominada força eletromotriz, como sendo uma forma da energia que, no caso vertente, era gerada por uma ação química em quantidade equivalente e que, no decurso do processo, se convertia em quantidades equivalentes de calor, de movimento de massas etc. Dizem-nos agora, de repente, que "a soma das forças eletromotrizes, no circuito", já existe mesmo antes que as reações químicas tenham posto em

liberdade essa energia; ou, em outras palavras: que a força eletromotriz não é outra coisa senão a capacidade que tem uma determinada cadeia de pôr em liberdade, na unidade de tempo, uma quantidade determinada de energia química e transformá-la, depois, em movimento elétrico. Tal como antes a força de separação elétrica, agora a força eletromotriz se apresenta como uma força que não possui a mínima parcela de energia. Wiedemann entende, pois, como força eletromotriz duas coisas inteiramente diferentes: por um lado, a capacidade que tem a cadeia de pôr em liberdade determinada quantidade de energia química e transformá-la em movimento elétrico; por outro lado, a própria quantidade de movimento elétrico. Que ambas sejam, proporcionais, que uma delas seja medida da outra, não elimina as suas diferenças. A ação química, na cadeia, a quantidade de eletricidade produzida e o calor por ela desenvolvido no circuito (quando não é realizado outro trabalho) são mais que proporcionais: são equivalentes; mas isso em nada atenua as diferenças. A capacidade que tem uma máquina a vapor (com determinado diâmetro de cilindro e percurso de pistão) de produzir uma certa quantidade de movimento mecânico, em consequência do calor recebido, é uma coisa muito diferente desse mesmo movimento, muito embora lhe seja ele proporcional. Se um tal modo de encarar esse fenômeno era admissível numa época que, no terreno das ciências naturais, ainda não se falava no princípio da conservação da energia, é evidente que, do momento em que se reconheceu como um fato essa lei fundamental, não se tem mais o direito de confundir a energia realmente viva, sob qualquer de suas formas, com a capacidade que possui um determinado aparelho para dar essa forma à energia que é posta em liberdade. Essa incompreensão constitui o corolário natural da confusão. Estabelecida entre força e energia, isso em razão da chamada força de separação elétrica. Essas duas confusões são justamente o que permite fundir harmonicamente as três explicações da corrente, apresentadas por Wiedemann e totalmente contraditórias entre si; e nelas se basearam, em síntese, todos os extravios e enredos a respeito da pretensa força eletromotriz.

Além da peculiar interação, já examinada, que se verifica entre a eletricidade e os efeitos químicos, existe ainda uma segunda relação comum, indicando igualmente um íntimo parentesco entre essas duas formas de movimento. Ambas só podem subsistir, desaparecendo. O processo químico se realiza subitamente em relação a cada um dos grupos de átomos que dele participam. Só pode ser prolongado em virtude da presença de um novo material que, sem cessar, entre novamente nele. A mesma coisa acontece com o movimento elétrico. Logo após ter sido gerado por outra forma de movimento, em seguida se converte numa terceira forma; assim, somente uma continuada disponibilidade de energia, poderá produzir uma corrente permanente em que, a cada instante, novas quantidades de movimento adquirem a forma de eletricidade para, em seguida, voltar a perdê-la.

A compreensão dessa íntima conexão entre a ação química e a elétrica, e vice-versa, conduzirá a grandes resultados em ambos os campos de investigação (13). Ela está se generalizando a cada dia que passa. Entre os químicos, Lothar Meyer (1830-1895) e, depois dele, Kekulé (Friedrich, 1829.1896) declararam explicitamente que está-se aproximando o momento da readoção, com feições mais modernas, da teoria eletroquímica. Também os eletrólogos, conforme indicam os trabalhos mais recentes de Kohlrausch, parece terem chegado à convicção de que somente uma observação exata dos processos químicos, na cadeia e na célula de dissociação, poderá ajudar sua ciência a sair dessa ruela estreita das tradições caducas.

Na realidade, não é possível entrever outra maneira de se apoiar a eletricidade em fundamentos firmes (bem como o magnetismo e as tensões elétricas), a não ser mediante uma revisão geral, no terreno da química, de todas as experiências transmitidas pela rotina, experiências, não controladas, empreendidas dentro de um ponto de vista já superado; procedendo-se, enfim, com absoluta exatidão, ao exame e à medição das transformações da energia e deixando de lado, ao mesmo tempo, todas as noções tradicionais a respeito da eletricidade.