

O Movimento Absoluto e a Física de Newton ¹

Alberto Mesquita Filho

1- A existência (ou a realidade) do movimento

A existência do movimento é um fato constatável. Por exemplo, ao escrever este artigo noto que o *indicador*, a assinalar onde deverá entrar a próxima letra na tela de meu computador, move-se em relação à página do Editor de Texto. Ao parar de digitar o indicador fica piscando, mas permanece em repouso em relação à página, como que a esperar que eu digite a próxima letra. Mas... e em termos absolutos? Existe um movimento absoluto? A resposta, quero crer, comporta duas versões. Estudaremos neste tópico uma das versões, deixando a outra para o próximo item.

Numa das versões, digamos a *versão 1*, poderíamos dizer que um dos objetos (o indicador ou a página) move-se em relação a outro, qualquer que seja o referencial adotado. Sob esse aspecto, o movimento por si só seria algo absoluto. Não obstante, esse caráter absoluto não seria uma propriedade dos objetos, mas sim algo a relacionar-se com o referencial, ou seja, com a postura do observador. Como o observador sou eu, e estou vendo a página *como se estivesse fixa*, digo que quem se move é o indicador. Neste caso não poderíamos dizer que um dos objetos está dotado de um movimento absoluto, mas poderíamos garantir que um está em movimento em relação a outro. Ou então, que os dois estariam em movimento em relação a um terceiro objeto qualquer a acompanhar o observador. Digamos, neste último caso, que a minha cadeira estivesse oscilando lateralmente. Parece ficar claro que, mesmo aceitando-se esta relatividade, nem tudo neste suposto mundo seria relativo. Existe pelo menos um dado absoluto a nos garantir a existência daquilo que pode ser interpretado como sendo um movimento relativo.

Pensemos nos objetos A e B apresentados na figura 1 e que poderiam ser duas naves espaciais situadas no espaço sideral. Na figura 1 à esquerda elas estão representadas uma ao lado da outra e vamos admitir que assim permaneçam no decorrer do tempo. Um observador fixo a uma das naves, dirá que ambas estão em repouso, enquanto outros observadores poderão afirmar que ambas estão em movimento, mas todos concordarão que uma das naves está em repouso em relação a outra.

Suponhamos agora que uma das naves esteja em movimento em relação a outra e que um

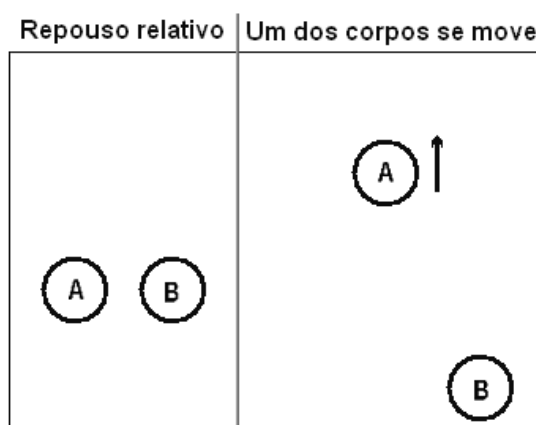


Figura 1: Explicação no texto

observador, fixo à nave B, descreva o conjunto como mostrado na figura 1 à direita, qual seja, com a nave A em movimento e afastando-se de B numa direção determinada (para cima da figura, no caso apresentado). Neste caso, outros observadores, situados em outros referenciais, descreverão o sistema com outras palavras. Dependendo do referencial, afirmarão que um dos corpos (A ou B), ou ainda ambos, estarão em movimento. Mas em nenhum caso chegarão a afirmar que as duas naves estão em repouso, seja em relação a si (observador), seja uma das naves em relação a outra (repouso relativo). Conseqüentemente, neste caso existe uma característica absoluta e a diferenciar esta condição daquela apresentada na figura à esquerda, onde em um dos referenciais A e B estão concomitantemente em repouso.

Tanto neste caso (figura 1 à direita) quanto naquele apresentado inicialmente (indicador/página), e raciocinando fisicamente, ninguém poderá contestar a seguinte verdade: Pelo menos um dos objetos está se movendo, qualquer que seja o referencial da observação. Portanto, e sob esse aspecto, o movimento existe num sentido absoluto, sendo relativo apenas quando pensamos em descrever em qual dos objetos esta propriedade foi constatada. O movimento não seria uma propriedade da matéria em si, mas algo mutável e a depender da postura do observador. Talvez fosse possível negar este movimento absoluto, mas creio que cairíamos numa filosofia a se opor ao existencialismo (no caso, a se opor à hipótese da existência do movimento), e não será pretensão nossa

evoluir nesta direção. Ao que parece, Berkeley chegou a propor algo desse tipo, se não com relação ao movimento, talvez com relação a um ou mais dos essenciais que estamos considerando (espaço, matéria e movimento).

A versão 1 trabalha portanto com a realidade do movimento (realismo) e/ou assume a existência do movimento (existencialismo) sem porém se opor ao relativismo. Segundo esta versão, e para a descrição do processo, seriam suficientes três hipóteses existenciais: espaço, matéria e movimento (ou tempo). Sequer será necessária a introdução do construto matemático força, haja vista que, nestes casos particulares, uma vez instalados os movimentos, os objetos são deixados ao sabor da inércia.

Por outro lado, e como veremos oportunamente, toda a aparente fragilidade epistemológica do modelo mecânico newtoniano reside principalmente nesta sua virtude matemática: a de nos dar a falsa impressão de que princípios mais fundamentais seriam desnecessários. Isso chegou a ser muito bem colocado por Newton na Introdução do Livro III (The System of the World) dos Principia, com as seguintes palavras:

*Nos livros precedentes eu apresentei os princípios de filosofia que não são, contudo, filosóficos, mas estritamente matemáticos —ou seja, aqueles sobre os quais o estudo da filosofia pode se apoiar. Esses princípios são as leis e as condições dos movimentos e das forças, os quais relacionam-se especialmente com a filosofia. Mas, a fim de evitar que esses princípios possam parecer estéreis, eu tenho ilustrado a apresentação dos mesmos através de alguns escólios filosóficos (i.e, escólios relacionados à filosofia natural), considerando tópicos que são gerais e que parecem ser mais fundamentais para a filosofia, tais como a densidade e a resistência dos corpos, os espaços vazios e o movimento da luz e do som.*¹

Parece-me que Newton está assumindo que os princípios matemáticos, de alguma maneira, retratariam a realidade experimental, ou seja, descreveriam a natureza como ela se nos apresenta ser. Em vista disso, poderíamos nos apoiar nestes princípios matemáticos para construir nossa filosofia natural. Essa filosofia natural, no entanto, implicaria na busca pelas causas a justificarem a realidade experimental, e essa busca estaria sendo apresentada e/ou estimulada nos escólios de seus três livros que

compõem os Principia.² Conduta semelhante Newton adota em sua Óptica,³ apenas que, ao invés de escólios, reuniu todas essas pendências na Óptica III, através de 31 questionamentos, onde aponta os caminhos possíveis para suas soluções. É bem verdade que, na óptica newtoniana, a matemática, associada à experimentação, não tem esse poder de nos iludir quanto à desnecessidade de uma conceituação mais geral e aprofundada de seus constructos, o que ocorre no estudo da mecânica (força, energia etc).

2- O movimento absoluto e a experimentação

A outra versão, qual seja, a versão 2, é mais complexa e como veremos exige um ingrediente a mais, além de espaço, matéria e movimento. Vamos pensar em dois globos girando em torno de um ponto comum. Os globos estariam a uma mesma distância desse ponto comum, em oposição diametral, e unidos por uma corda a passar por esse diâmetro. O centro da corda coincide com o ponto comum do giro considerado. A pergunta que surge é: Quem está girando? Os dois globos ou o observador?

A idéia original é de Newton, e surgiu como uma experiência de pensamento e que está descrita no primeiro escólio dos Principia.⁴

Essa experiência poderia ser feita hoje. Uma solução um tanto quanto sofisticada seria realizá-la no espaço sideral, mas há meios bem mais simples. Poderíamos utilizar um desses ambientes onde a NASA treina seus astronautas. Ou melhor ainda, poderíamos utilizar um colchão de ar, um aparato que trabalha com *pucks* e não com globos, mas o formato do objeto não é o mais importante. Os *pucks* ficam como que suspensos no colchão de ar devido a uma infinidade de furinhos em uma mesa especial, por onde sai ar ininterruptamente. Se os *pucks* forem colocados em repouso, eles permanecerão suspensos no ar, mas em repouso em relação à mesa. Se um deles for colocado em movimento, este permanecerá com o movimento imposto, pois o colchão de ar tem também o efeito de eliminar o atrito entre o *puck* e a mesa.

Se prendemos dois *pucks* com uma corda, eles representarão o equivalente aos globos da experiência de pensamento de Newton. Suponhamos que um observador, situado acima da mesa, está observando a experiência e vê os dois *pucks* girando em torno de um ponto comum. Suponhamos ainda que ele não enxergue as bordas da mesa, logo não sabe se os

¹ NEWTON, Isaac: *Principia - Mathematical Principles of Natural Philosophy* (Third Edition, 1726), A New Translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman (1999), Berkeley, Univ. of California Press, p. 793.

² Os Principia têm 48 escólios.

³ NEWTON, Isaac: *Opticks* (Based on the fourth edition, London, 1730), Dover Publications, Inc., New York, pp. 339-406.

⁴ Principia (op. cit.), p. 414.

pucks estão girando em relação à mesa ou se ele (observador) está girando e, neste caso, os *pucks* estariam em repouso em relação à mesa e, portanto, em relação ao solo. Pergunto agora: Essas duas situações seriam totalmente equivalentes, como estávamos pensando com o exemplo da *versão 1* do item anterior? Seria possível descobrirmos quem se move, se o observador ou os *pucks*, através de alguma coisa a ser medida e cujo resultado se mostrasse diferente em cada caso?

A resposta é sim. As situações são totalmente diferentes. No primeiro caso, observador girando e *pucks* em repouso em relação à mesa, a corda não ficará sujeita a nenhuma tração. Estou desprezando um possível arraste do *puck* pelo ar que o mantém, que acredito seja de pequeno porte; isso não ocorreria na situação ideal, ou seja, no espaço sideral. No segundo caso, a corda estará sujeita a uma tração que será tanto maior quanto maior for o giro dos *pucks* em torno do ponto central da corda. Esta tração pode ser medida: seria suficiente enxertar um dinamômetro em meio a corda, e este dinamômetro denunciaria a tração, podendo-se até mesmo calcular qual seria a velocidade absoluta de giro e, desta forma, saber quem se move, se o observador, os *pucks* ou ambos (pois isso também poderia estar ocorrendo, ambos girando em relação à mesa).

Percebe-se então que por esta *versão 2* existiria algo a falar a favor de um movimento absoluto, pelo menos no sentido do movimento de giro. Mas não dá para irmos muito além disso, pois este absoluto estaria se referindo à mesa ou ao solo. E quem me garante que este movimento em relação ao solo não é também relativo? Como já disse, estamos na Terra que se move em relação ao Sol, que se move em relação à Galáxia, que se move em relação ao... Universo! Existiria um ponto de referencia universal a indicar um movimento absoluto? Esta é a grande pergunta, e a experiência interpretada segundo a *versão 2* serve apenas como algo a indicar um possível caminho a orientar a resposta, mas até agora a dúvida persiste. Qual seria este caminho? É o que veremos no item a seguir.

3- A informação do movimento

Digamos que os dois *pucks*, caso estivessem em movimento em relação ao solo, tracionassem a corda. Ou seja, tudo se passaria como se cada um deles estivesse puxando o outro, através da corda, e graças a isso eles mantêm seu giro. Se cortarmos a corda eles deixarão de girar e sairão pela tangente, num movimento retilíneo, cada um para um lado. Ou seja, eles giram porque de alguma maneira estão se comunicando, e o canal de comunicação é a corda.

Neste caso não existe apenas a mesa (representando ou contendo um espaço) com os *pucks* (representando a matéria) em movimento, mas também a corda a transmitir bilateralmente uma mensagem do movimento de cada um dos *pucks* para o outro (informação do movimento). Cada um dos *pucks* reage a essa informação corrigindo sua inércia, de retilínea para circular. Por outro lado, se o movimento absoluto fosse do observador, e não dos *pucks*, ao cortarmos as cordas eles permaneceriam girando em relação ao observador mas, rigorosamente falando, permaneceriam em repouso, um em relação ao outro e ambos em relação à mesa ou ao solo. Este giro relativo dar-se-ia independentemente de qualquer comunicação entre os *pucks* (a tração na corda, neste caso, é nula). É nesse sentido que digo que para pensarmos na possibilidade da existência de um movimento absoluto num sentido não tão *light* como aquele descrito pela *versão 1*, precisamos de outro ingrediente, e esse nada mais é senão a informação do movimento. Ou seja, nesta versão as três hipóteses existenciais (espaço, matéria e movimento) não são suficientes, devendo-se acrescentar mais uma, e quero crer que já dei a entender qual seria: a *informação do movimento*.

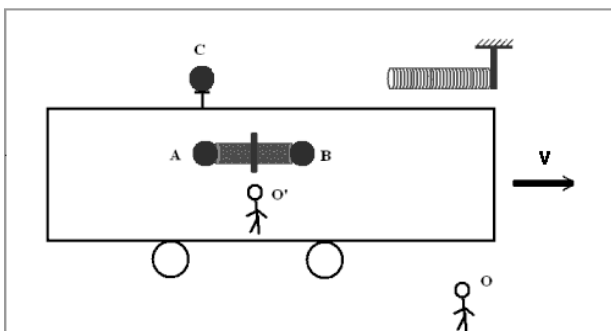
Como disse, não estou apresentando o problema resolvido, apenas indicando um caminho a ser percorrido para chegarmos à solução. Mesmo porque, tomei de empréstimo um exemplo de Newton, que por si só é complexo e próprio ao macrocosmo, e apenas procurei adaptá-lo aos laboratórios da atualidade. No microcosmo, entre uma partícula e outra, que porventura estejam a girar uma em relação à outra, não existe nada observável além do espaço, logo não existe a corda a se servir como canal dessa informação de movimento. De qualquer forma, é importante perceber que mesmo na intimidade dos objetos que nos aparentam como contínuos (a exemplo da corda), existe muito mais espaço, ou vazio, entre uma partícula e outra, do que matéria. Logo, entre uma partícula e outra da corda, a informação também trafega por um espaço imenso, o mesmo território onde estaria a informação que mantém a corda coesa e estruturada da maneira que a enxergamos.

4- Uma experiência de pensamento

Um pesquisador, a ser chamado por observador **O**, construiu um mini-laboratório (*mini-lab*) convidando um seu colega, a ser chamado por observador **O'**, para que permaneça no interior do *mini-lab* para ajudá-lo em suas pesquisas. O *mini-lab* anda sobre trilhos perfeitos, sem atrito, e vamos assumir, por facilidade, que não há gravitação neste local. Vamos desprezar também outros atritos e viscosidades. Pelo princípio da

relatividade de Galileu é de se esperar que as leis do modelo mecânico newtoniano, válidas no laboratório original, sejam válidas também neste *mini-lab*, sempre que ele estiver com velocidade constante em relação a um referencial fixo ao laboratório original.

No interior do *mini-lab* existem duas bolinhas **A** e **B** e duas molas, como mostra a figura 2. As bolinhas **A** e **B** estão fixas a molas comprimidas e travadas, e em repouso em relação ao *mini-lab*. Uma terceira bolinha **C** está no teto do *mini-lab* e no compartimento exterior, mas fixa ao mesmo. No laboratório original que contém o *mini-lab* existe uma terceira mola fixa ao teto. Esta terceira mola não está comprimida e localiza-se exatamente no trajeto por onde irá passar a bolinha **C** quando o *mini-lab* entrar em movimento.



**Figura 2: Início do movimento do *mini-lab*.
Explicação no texto**

Num dado instante o observador **O** aciona um mecanismo a colocar o *mini-lab* em movimento (figura 3) a uma velocidade v (pode ser uma velocidade pequena, pois não vamos aqui testar a teoria da relatividade de Einstein). Quando a bolinha **C** encostar na mola distendida, ela começa a comprimir a mola e vamos supor que, através de um mecanismo apropriado, ela solte-se do *mini-lab* e se fixe à mola exterior (deixando portanto de acompanhar o *mini-lab*). Ao final da compressão a mola trava-se, graças a outro mecanismo apropriado. Exatamente nesse instante o observador **O'** aciona um mecanismo a destravar as

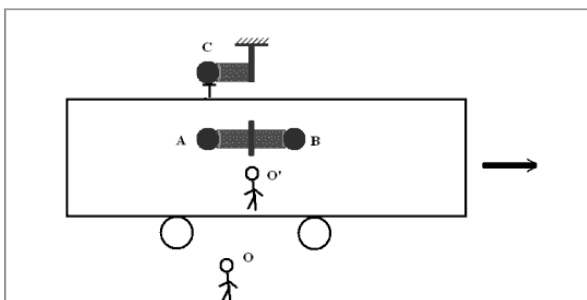


Figura 3: *Mini-lab* em movimento. Encontro da bolinha **C com a mola superior.**

duas molas interiores e a soltar as bolinhas **A** e **B**. Estas ficam então soltas no espaço recebendo o impulso das molas ao se distenderem. Vamos supor, por facilidade, que o aparato foi construído de tal maneira que as duas bolas adquiram uma velocidade v , em relação ao observador **O'**, igual à velocidade do *mini-lab* em relação ao observador **O**. Nestas condições teremos, ao final da experiência, as duas bolinhas **A** e **C** em repouso em relação ao observador **O** e a bolinha **B** com a velocidade $2v$ (figura 4). Em relação ao observador **O'**, do *mini-lab*, as bolinhas **A** e **C** afastam-se para a esquerda na velocidade v e a bolinha **B** afasta-se para a direita também na velocidade v .

Em termos do modelo mecânico newtoniano, creio que seria relativamente fácil explicar tudo o que está acontecendo ou que aconteceu durante todo o processo. Também não será difícil perceber que cada um dos observadores irá concordar que a energia, da maneira como é definida em física clássica, se conserva (a seguirmos os cânones do modelo citado), se bem que os argumentos utilizados serão diversos, pois eles estão em referenciais distintos. De qualquer maneira, existem alguns componentes comuns a ambas interpretações e a independem do referencial, quais sejam: 1) a energia armazenada na mola que foi comprimida; 2) a energia das duas molas que se distenderam, e que acabou se transformando em energia cinética das bolas **A** e **B** no referencial do *mini-lab* (e estas sim, serão diferentes de um observador para outro); e 3) a energia correspondente ao impulso inicial a colocar o *mini-lab* em movimento.

Eu não vou entrar em maiores detalhes a respeito da localização e/ou comparação dessas energias relativas e não-relativas, pois acredito que este seria um exercício interessante para ser feito individualmente. Se o leitor optar por aceitar este convite e, por um motivo qualquer, se atrapalhar com essas energias, ou achar que existe alguma coisa esquisita no problema, sugiro que elucide suas dúvidas consultando o *anexo 1* deste artigo. Para o entendimento do que se segue, a leitura do anexo pode ser deixada de lado, pois o que estou

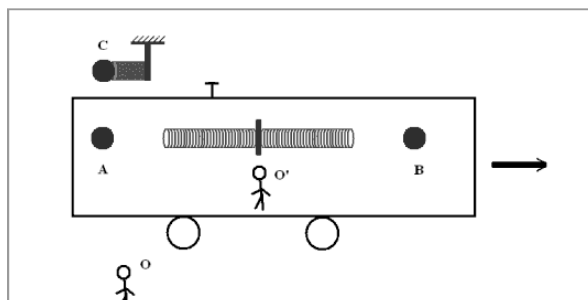


Figura 4: *Mini-lab* em movimento. Situação final.

pretendendo chamar a atenção não seria nada a se opor frontalmente ao modelo mecânico newtoniano, que sem dúvida dá conta do problema com relativa facilidade. Na realidade, estou pretendendo analisar esta experiência de pensamento sobre um outro prisma, aquele relativo a um possível absolutismo do movimento. Em particular, pretendo mostrar que esse absolutismo do movimento não implica na existência de um *referencial absoluto*, pensado como algo a ser fixado num hipotético *espaço absoluto*. Este espaço absoluto poderia até mesmo existir, a retratar o que considerarei como sendo uma *propriedade histórica* (e/ou teleológica), mas isso não implica que um referencial fixo a um corpo em repouso neste espaço seria um referencial absoluto (essa não implicação será discutida oportunamente).

5- O movimento absoluto segundo Newton

Vamos, em primeiro lugar, procurar entender como Newton caracterizava o que chamou movimento absoluto, ou seja, como diferenciaria este movimento absoluto dos movimentos relativos. Segundo Newton:

*o movimento verdadeiro ou absoluto não pode ser criado ou modificado exceto pela ação de forças, mas o movimento relativo pode ser criado ou modificado sem a ação de forças.*⁵

Com esta frase Newton está pretendendo colocar a relatividade e o seu MODELO funcional, mas acima de tudo matemático, nos seus devidos lugares frente à sua FÍSICA, por mais que este modelo e esta relatividade sejam utilíssimos para a resolução de problemas. Ou seja, ao mudar de referencial nós não estamos descaracterizando o absolutismo do movimento, simplesmente estamos utilizando uma de suas propriedades mais fundamentais, a da conservação das diferenças desse movimento absoluto com a mudança do referencial. Em outras palavras: Newton sabia que poderia lançar mão desta propriedade, tanto é que chegou a afirmar:

*E, portanto, não tenho escrúpulos em propor os princípios de movimento [...], sendo eles de uma extensão muito geral, e deixar suas causas serem descobertas.*⁶

Que causas seriam essas? Quero crer que seriam as causas responsáveis pelas forças naturais, aquelas que respondem pela existência de um movimento absoluto. Ora, dizer que existe um movimento absoluto é quase o mesmo que dizer, utilizando um termo da física clássica pós-Newton, que deve existir uma correspondente energia mecânica

absoluta. Esta energia absoluta deveria ser independente do referencial, logo não tem o mesmo sentido daquela energia cinética que nos acostumamos a utilizar. Percebam que, no exemplo acima, a energia das molas pode ser pensada como absoluta, mas a energia cinética clássica possuída por cada objeto varia de observador para observador, logo a energia mecânica presente em cada objeto é sempre relativa. Com efeito, a energia mecânica varia afim de satisfazer uma contabilidade bastante requintada, a ponto de conseguirmos fechar o balanço sempre concluindo por uma conservação desta energia relativa.

6- Interpretação da experiência de pensamento

Com esses pensamentos em mente, ou seja, através deste novo prisma, vamos procurar interpretar a experiência de pensamento descrita no item 4. Vamos raciocinar em termos de movimento num sentido amplo, e não apenas com respeito a velocidades relativas. As três bolinhas (**A**, **B** e **C**) foram inicialmente submetidas a um mesmo empurrão (parte daquele que colocou todo o *mini-lab* em movimento) e graças a isso adquiriram inicialmente movimentos semelhantes (figura 2). No instante do choque da bolinha **C** com a mola superior, as bolinhas **A** e **B** receberam um segundo empurrão das respectivas molas, enquanto a bolinha **C** empurrou a mola superior (ou, se quisermos sofisticar, sofreu um empurrão negativo). Será que poderíamos em sã consciência afirmar categoricamente que as bolinhas **A** e **C** estão dotadas do mesmo movimento? Por mais que a física newtoniana —simplificada em suas três leis, a se compatibilizarem com a relatividade de Galileu,— nos induza a concluir que **A** e **C** estão dotadas do mesmo movimento relativo, eu diria que **A** recebeu dois empurrões, enquanto **C** recebeu um empurrão inicial, proveniente do laboratório, e o devolveu à mola. Em outras palavras, na segunda etapa da *experiência*, e para voltar a um *suposto* repouso correspondente às condições iniciais da experiência (a *simular* um repouso absoluto), a bolinha **A** recebeu um empurrão enquanto a bolinha **C** cedeu esse mesmo empurrão.

Rigorosamente falando, o máximo que eu posso inferir é que **A** e **C** estão com velocidades nulas em relação a **O**, mas nada me garante que, em sua estrutura interna, **A** e **C** estejam em estados idênticos do ponto de vista de uma mecânica absolutista —principalmente se pretendemos aceitar o argumento newtoniano da existência de um movimento absoluto. Sem dúvida existe aí o calor para complicar, mas eu quero crer que em teoria é possível pensarmos em processos totalmente elásticos e sem a dissipação de calor.

⁵ Principia (op. cit.), p. 412.

⁶ Óptica, (op. cit.), Livro III, Questão 31, p. 402.

Pensando em termos de *energia absoluta*, eu diria que a bolinha **A** recebeu energia duas vezes, enquanto a bolinha **C** recebeu energia no primeiro processo e cedeu esta mesma energia no segundo processo. Relativisticamente falando, a contabilidade dá certo nos dois referenciais, desde que utilize-se o conceito de *energia relativa*. Não obstante, pensando-se em termos absolutos fica a impressão de que parte da energia agregou-se a uma hipotética *energia interna* da matéria. [Essa *energia interna* não deve ser encarada como idêntica à energia interna definida em termodinâmica, pois esta última também é uma energia pensada em termos relativos.] Neste caso, nos dois referenciais tanto a bolinha **A** quanto a bolinha **B** deveriam ter uma energia *absoluta* igual no final da experiência. A bolinha **C**, por sua vez, teria uma energia *absoluta* inferior à das bolinhas **A** e **B**.

Coloquemos, por hipótese, o nosso laboratório naquele suposto espaço absoluto teleológico caracterizado por Newton como o *sensório de Deus*. Nestas condições, o *mini-lab*, na figura 4, estaria a uma velocidade v em relação a um referencial fixo neste laboratório em repouso absoluto. As bolinhas **A** e **C** estariam em repouso em relação a este referencial e/ou a esse espaço absoluto, e não obstante, adotando-se a visão newtoniana (relação movimento absoluto/força), a bolinha **C** estaria em repouso absoluto, enquanto que a bolinha **A** estaria em movimento absoluto de magnitude idêntica à da bolinha **B**, a despeito de sua velocidade ser nula.

O espaço absoluto, assim como o referencial absoluto, perde então o seu significado físico, nada obstando a que conserve sua existência dentro de um contexto de importância histórica (e/ou teleológica). [Lembro ainda que a situação parece ser simétrica, pois a experiência teria sido a mesma caso invertêssemos a direita pela esquerda (a menos que o espaço do mundo em que vivemos não fosse isotrópico)]. Não obstante, ainda que essa idéia de espaço absoluto fique a desejar (rigorosamente falando eu diria que ele seria de pouquíssima importância para a física e, quiçá, importante para a religião — neste caso seria o referencial da *criação* e/ou do *Criador no ato da criação*), o movimento absoluto permanece como um argumento a nos deixar de cabelo em pé. Digo isso porque esta experiência de pensamento, se por um lado chama a atenção para a possibilidade de interpretarmos o movimento sob um novo prisma, por outro coloca-nos frente a uma situação bastante esquisita, pois fica-nos a impressão de que para salvarmos a idéia newtoniana de movimento absoluto, emerge um novo conceito, o de uma energia absoluta que não corresponde exatamente à mesma energia definida em física clássica. Em outras palavras, dois corpos em estados

mecânicos diversos frente à mecânica absolutista inerente à FÍSICA newtoniana, poderiam simular ocupar um mesmo estado mecânico, quando visualizados pelo prisma do MODELO newtoniano simplificado em suas três leis.

7- A expansão do Universo

Mudemos um pouco o enfoque. Suponhamos agora que a nossa Galáxia, a Via Láctea, tivesse levado um *empurrão inicial* a partir de um hipotético espaço absoluto — quiçá o referencial de um Big-Bang clássico (figura 5) ou então o referencial do Criador, a sua escolha— e que hoje estivesse viajando em uma velocidade v . Tratando-se de uma experiência de pensamento, e sendo este um Big-Bang clássico, poderíamos imaginar um observador **O**, situado no referencial do Big-Bang, e outro observador **O'**, situado, por exemplo, na Via Láctea. Em outras palavras, estamos supondo agora o Universo como sendo o laboratório da experiência de pensamento do item 4, e a Via Láctea como sendo o *mini-lab*.

Se o observador **O'** conseguir enviar uma nave

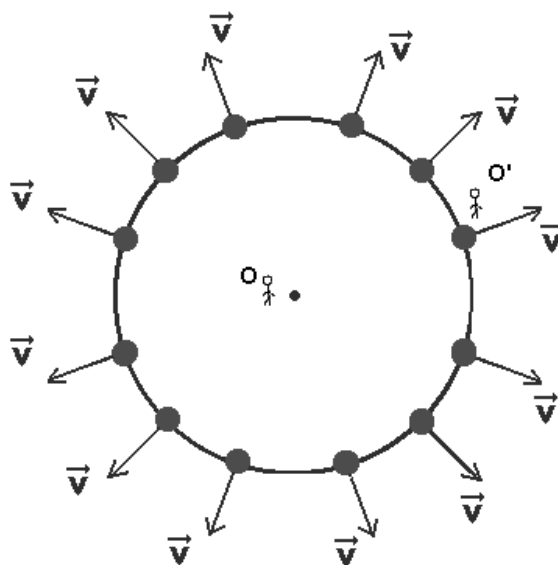


Figura 5: Um Big-Bang clássico e bastante simplificado.

com a velocidade v na mesma direção do movimento da Via-Láctea e sentido oposto, pergunto: Ela estará em *repouso* em relação a este espaço que convençamos chamar de absoluto? Respondo: Sim, a velocidade aí medida será nula. Refaço então a pergunta: Esta nave estará em *repouso absoluto*? Eu diria que não, pelo mesmo motivo que acredito numa diferença substancial entre o *repouso* em relação a **O** das bolinhas **A** e **C** da experiência de pensamento do item 4. Para estar em *repouso absoluto* a nave teria

que ter sido breçada, jamais acelerada. Lendo Newton noto que sob certos aspectos ele tentou mostrar que acreditava num espaço absoluto, talvez mais por motivos religiosos do que científicos —segundo Newton, *o espaço é o sensorio de Deus*. Essa religiosidade teria sido defendida veementemente por seu amigo Clarke, em seus diálogos com Liebniz, mas não é inerente à física newtoniana. Pois quando Newton precisou de fato justificar alguma coisa, postulou não um espaço absoluto, mas sim um movimento absoluto, apoiando-se agora em argumentos exclusivamente científicos, o que não significa que estejam corretos, mas dotados de uma lógica a meu ver impecável.

Em concordância com esta maneira de pensar, vejamos uma das afirmações de Lacey:

Newton ...*não é capaz de selecionar um sistema em repouso no espaço absoluto. Parece então (uma vez que Newton não considera quaisquer outros fenômenos que requeiram espaço absoluto para sua explicação) que tudo o que ele necessita é a noção de "aceleração absoluta".*⁷

Com efeito, é a aceleração quem caracteriza a modificação do estado de movimento e, como afirma Newton nos Principia, *o movimento verdadeiro ou absoluto não pode ser criado ou modificado exceto pela ação de forças, mas o movimento relativo pode ser criado ou modificado sem a ação de forças*.

8- As visões mecanicistas

Vamos evoluir um pouco mais a idéia. Até o momento eu explorei bastante, ainda que de maneira sutil, o que chamei *argumento histórico*, qual seja, o conhecimento que os observadores têm de como a *experiência* se procedeu. Isto, se bem que não seja desprovido de sentido, não justifica a opção pelo absolutismo newtoniano. Seria mais uma introdução a ser complementada com novos argumentos. Seria interessante talvez, antes de pensarmos numa argumentação de maior peso científico, caracterizarmos as principais visões mecanicistas. Eu diria que elas poderiam ser agrupadas em quatro categorias gerais:

a) A mecânica clássica seria inerentemente relativista num sentido *light*, ou seja, deixa de lado algumas idéias newtonianas, tanto aquela relacionada ao movimento absoluto quanto outra, a propor o *espírito da matéria*. Por si só ela não nega o absolutismo, apenas evita comprometer-se com o mesmo. Consegue fazer um sucesso relativo, pois

se por um lado ela ignora o que chamei *argumento histórico e/ou teleológico*, por outro ela funciona bem no macrocosmo e no terreno das baixas velocidades, resolvendo uma infinidade de problemas. Esta mecânica clássica, acrescida da negação dos essenciais da FÍSICA genuinamente newtoniana, representaria tão somente uma evolução do MODELO matemático/mecânico newtoniano, aquele que, no início do século XX, constatou-se não dar certo no microcosmo ou em condições de velocidades elevadas.

- b) Existe ainda um relativismo *hard* clássico construído por Mach, dentre outros, para opor-se frontalmente ao absolutismo newtoniano, mas não exatamente ao modelo clássico newtoniano, ou seja, aquele que denotei acima por mecânica inerentemente relativista num sentido *light*. As idéias de Mach influenciaram Einstein que modificou-as bastante, chegando no relativismo *hard* da física moderna e que, a rigor, é um *relativismo absolutista* excessivamente *hard*. Entre os anos 1960 e 1970 começou-se a perceber que a estrutura espaço-temporal da teoria da relatividade geral de Einstein seria tão absoluta quanto o seu equivalente newtoniano.⁸
- c) Existiria ainda um absolutismo *light*, de importância secundária, a aceitar o relativismo, mas a considerar que se dois corpos estão em movimento relativo, existe sempre um movimento absoluto associado, mas este poderá ser atribuído indistintamente a qualquer dos dois, ou seja, move-se aquele que não acompanha o observador. Não deixa de ser uma postura filosófica, aparentemente de menor importância para a física e a incorporar as idéias apresentadas no item 1 deste artigo, quando tratamos da existência e/ou realidade do movimento.
- d) Por fim, existiria um absolutismo *hard*, aquele mesmo defendido por Newton no primeiro escólio de sua obra, antes de propor o seu MODELO funcional. O modelo seria a física da maioria dos seguidores clássicos de Newton, mas não exatamente a FÍSICA de Newton. A aceitação pura e simples do modelo corresponderia à adoção de uma visão relativista no sentido *light*, conforme comentado no item a acima, enquanto a física genuinamente newtoniana seria absolutista no sentido *hard*. Para os que optam pelo absolutismo newtoniano, o modelo representaria tão somente um algoritmo matemático a funcionar na maioria

⁷ LACEY, H.M. (1972), *A linguagem do espaço e do tempo*, Tradução, Ed. Perspectiva S.A., São Paulo, p. 152.

⁸ DISALLE, Robert (2002): *Newton's philosophical analysis of space and time*. In COHEN, I. Bernard e George E. SMITH: *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge University Press, UK, 2002, capítulo 1, p. 34.

dos casos. Mas isso não implica que deva funcionar sempre e/ou que se possa sempre deixar de lado princípios mais sólidos, sob o risco de, em determinadas condições, cairmos na esterilidade dos princípios matemáticos apontada por Newton e comentada nos parágrafos finais do item 1 deste artigo.

Em resumo, toda vez que estivermos nos apoiando *exclusivamente* nas três leis de Newton, estaremos adotando a visão relativista *light*. Ao aceitarmos que aceleração e desaceleração são propriedades simétricas e totalmente equivalentes, estaremos nos firmando no conteúdo dessas três leis, porém deixando de lado argumentos outros que, sem negá-las, poderiam nos dar uma nova interpretação às mesmas.

9- Partição de energia

Uma distinção nítida entre o MODELO mecânico newtoniano e a FÍSICA newtoniana é que esta última pretende assimilar em seu bojo a noção de campo. Ou seja, Newton de alguma forma tentou mostrar que mecânica e gravitação deveriam se interligar por algo mais físico (espírito da matéria ou agente dos campos) e menos matemático (forças). Para o modelo newtoniano a noção de campos surge como um acessório. Para a física newtoniana a noção de *espírito da matéria* (o agente dos campos) surge como um essencial necessário, ainda que mal caracterizado experimentalmente no século XVII:

there is not a sufficient number of experiments to determine and demonstrate accurately the laws governing the actions of this spirit [última frase dos Principia (Escólio Geral)].⁹

É interessante notar que Newton refere-se a esse *espírito* não apenas como o responsável por campos conhecidos (gravitacional, elétrico e magnético) mas também como co-participante em inúmeros fenômenos a testemunharem interações entre objetos. Que dizer da interação mola bolinha da experiência de pensamento apresentada no item 4?

Quando um objeto macroscópico recebe energia cinética (por ex., ao ser impulsionado por uma mola), a mecânica relativista consegue contabilizar isso em termos de movimento de translação linear. O que de fato estaria ocorrendo em nível microcósmito? Não seria de se esperar algo do tipo (mas não exatamente igual) ao que tem sido chamado, em mecânica estatística, *equi-partição da energia*? Ou seja, que aquilo que chamamos energia cinética representasse apenas uma parte desta energia transferida? Neste

caso poderia estar, de fato, havendo uma *partição* da energia, mas não exatamente a equi-partição descrita em mecânica estatística (frações *iguais* para finalidades e/ou compartimentos distintos) e, conseqüentemente, a se pautar por princípios outros. Contabilmente as coisas dariam sempre certo, pois quando o objeto macroscópico devolve sua energia cinética à mola, ele devolve também essa energia acessória de vibração ou qualquer outra que não tenha sido levada em consideração e a fazer parte tão somente de uma partição possível e observada na *mecânica absolutista* no estilo newtoniano. Não obstante, se ao invés de devolver energia à mola, este objeto receber mais energia de outra mola, agora em sentido oposto, sua energia mecânica absoluta interna aumenta outro quinhão (mais vibração seria acrescentada a seu estado mecânico interno) e, não obstante, a energia cinética de translação volta a zero no referencial em consideração. Do ponto de vista da mecânica relacional tanto faz o objeto devolver a energia a uma mola quanto receber energia de outra mola no sentido oposto. Do ponto de vista de uma *mecânica absolutista*, as diferenças tornam-se nítidas sempre que pensarmos no que estaria acontecendo no microcosmo, pois aí os objetos provavelmente estarão em estados totalmente diferentes. O que diferencia um estado do outro seria o movimento absoluto de suas partes e, em decorrência, o teor das informações elementares a se compactuarem com essa diferença de movimento.

As forças, que mantém a estrutura das bolas da experiência de pensamento apresentada, são dos tipos de coesão entre moléculas ou então ligações químicas entre átomos de uma mesma molécula. Onde existe força, existirá, a meu ver, um campo de informação. Não obstante, para entendermos o processo em consideração não será necessário, numa primeira instância, irmos além da existência dessas forças. Pensemos, então, nessas ligações (coesão ou química) como pequeníssimas molas. Imaginemos aquela bola que é impulsionada pela mola macroscópica, como sendo constituída por milhares de bolinhas dispostas numa rede cristalina, como mostrado esquematicamente na figura 6.

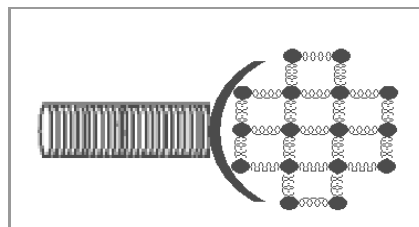


Figura 6: Explicação no texto

⁹ Principia (op. cit.), p. 944.

Quando a mola grande se distende, ela transmite não apenas energia cinética, calculada pela fórmula $\frac{1}{2}mv^2$ (v = velocidade adquirida pela bola e m = massa da bola), mas também uma fração de energia que não chega a ser contabilizada e devida à vibração das bolinhas menores entre si e a simularem uma vibração dessas minúsculas e hipotéticas molas (campos de coesão ou ligações químicas). Se a bola maior, dotada de energia cinética mais energia de vibração, chocar-se com outra mola idêntica à primeira e em repouso, a ponto desta mola se contrair (e a seguir ser travada quando a bola atingir o repouso), certamente a bola transferirá também essa energia de vibração à mola, ou seja, a bola devolverá toda a energia recebida e não apenas a energia cinética (assumindo-se a reversibilidade mecânica, ou seja, uma total elasticidade e reversibilidade do processo —idealmente supõe-se não haver liberação de calor).

Essa energia de vibração caracterizaria o que poderíamos chamar *uma energia que não se vê*. Essa *energia que não se vê* não está no campo (vazio de matéria), mas nas moléculas da bola (vibração das moléculas), pois o campo seria simplesmente o mediador de uma troca alucinante de vibrações. É interessante notar que a mola tem também uma estrutura interna formada por átomos e moléculas, logo dá para suspeitar que essa vibração também ocorra entre as moléculas da mola.

Estou enfatizando a transferência de *energia de vibração* pelo fato de a experiência de pensamento em discussão utilizar molas para acelerar as bolinhas. Há que se notar que podemos acelerar partículas por outros processos como, por exemplo, através de campos eletromagnéticos. No estudo desses processos já está comprovada a existência de uma *energia que não se vê* e seria a mesma que a relatividade moderna assume como tendo sido incorporada à massa da partícula ($E = mc^2$). Obviamente, se pretendermos dar uma explicação ao processo compatível com a física newtoniana, teremos que interpretar esse acréscimo de energia de outra maneira como, por exemplo, através do incremento de um possível giro da partícula¹⁰ (*spin* clássico). A energia recebida do campo, portanto, estaria também sujeita a uma partição: parte da energia seria adicionada à energia de translação da partícula e parte à energia de giro.¹¹ Uma alternativa interessante, ainda

¹⁰ MESQUITA FILHO, A. (2002): *A energia da física moderna*, Editorial da revista Integração: VIII:163-4 (agosto de 2002).

¹¹ O *spin* clássico seria compatível com a teoria de Maxwell a ponto desta conseguir explicar inúmeros fenômenos do microcosmo [vide MESQUITA FILHO, A. (1997): *The electron equation and electromagnetism*, Integração III(11):286-304], mas não se coadunaria com as modificações efetuadas por Lorentz (teoria de Maxwell-Lorentz).

que de difícil explicação causal, é apresentada por Gaasenbeek, ao assumir que as partículas viajam através de trajetórias helicoidais.¹²

10- Argumentos newtonianos a favor do espírito da matéria e/ou contrários ao éter

Concluída a análise da experiência de pensamento apresentada, vamos procurar evoluir de maneira a que possamos tentar entender porque o movimento absoluto seria tão fundamental para Newton a fim de que ele pudesse quiçá chegar nos princípios *filosóficos* de sua filosofia natural, evoluindo, desta maneira, dos princípios matemáticos na direção de um maior entendimento das causas subjacentes.

Ao final da seção 11 do Livro I dos Principia, há um escólio, via de regra pouquíssimo comentado, onde Newton agrupa, num mesmo contexto, forças de atração devidas a causas diversas, sejam essas conhecidas ou imaginárias. Newton afirma:

*Eu uso aqui a palavra "atração", em um sentido geral, para toda tendência, qualquer que ela seja, dos corpos aproximarem-se um do outro, quer essa tendência ocorra como resultado da ação dos corpos, seja puxando um para o outro ou agindo um sobre o outro por meio de espíritos emitidos, quer ela se origine da ação do éter ou do ar ou de qualquer outro meio que se possa imaginar —seja este meio material ou imaterial— que impele de alguma maneira, um para o outro, os corpos aí flutuantes.*¹³

Vamos analisar essas causas diversas uma a uma. No primeiro caso (corpos puxando-se entre si) o exemplo típico parece-me ser aquele de sua experiência de pensamento descrita no item 2 (globos giratórios unidos por uma corda) e, sendo assim, haveria muito pouco o que acrescentar ao já discutido.

O segundo caso, *ação dos corpos através de espíritos emitidos*, estaria mais de acordo com a idéia daquela *alguma coisa imaterial* responsável pela gravitação e que teria sido melhor comentada em uma das cartas que Newton escreveu a Bentley:

É inconcebível que a matéria bruta inanimada possa, sem a mediação de alguma coisa, que não é material, atuar sobre, e afetar outra matéria sem contato mútuo, como deve ser, se a gravitação no sentido de Epicuro for essencial e inerente a ela. E esta é uma razão pela qual desejo que não me seja atribuída a gravidade inata. Que a gravitação

¹² GAASENBEECK, J. L (1990): *Helical particle waves*, Selected Papers (site na internet), Toronto, Ontário, Canadá: <http://www2.rideau.net/gaasbeek/spap1.html>.

¹³ Principia (op. cit.), p. 588.

*seja inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo possa atuar sobre outro a distância, através do vácuo, sem a mediação de mais nenhuma outra coisa, pela qual e através da qual sua ação e sua força fosse transportada de um até outro, é para mim absurdo tão grande, que acredito que homem algum que tenha em questões filosóficas competente faculdade de pensar, possa cair nele. A gravidade deve ser causada por um agente que atua constantemente, de acordo com certas leis, mas deixo à consideração de meus leitores se este agente é material ou imaterial.*¹⁴

É digno de nota que Newton, após firmar sua crença na imaterialidade dessa *alguma coisa*, a qual sem dúvida alguma é o mesmo *espírito* dos outros textos, tenha deixado a critério do leitor a opção pela crença ou descrença em sua afirmação primeira. Com efeito, em fases distintas de sua vida o próprio Newton chegou a pensar de maneiras diversas; e mesmo nas fases cronologicamente mais avançadas, manteve a postura de aceitar um fato incontestável: a carência, no séculos XVII e início do século XVIII, de experimentos em número suficiente para que pudesse determinar e demonstrar, de maneira exata e irrefutável, as leis que governam as ações desse suposto espírito, conforme citação exposta no item 9.

Uma terceira possibilidade aventada por Newton seria a de forças originadas pela *ação do éter ou do ar*. Quero crer que o éter aí referido seria aquele meio hipotético e de natureza material de seus contemporâneos, o mesmo que revigorou no século XIX e a comportar a propagação das ondas *mecânicas* de luz. Poderia também ser pensado como um meio a comportar os vórtices de Descartes e, neste caso, a representar uma extensão da matéria visível. Nos dois casos fica-me a impressão de que este éter funcionaria como um meio a transmitir movimentos de uma maneira muito semelhante, pelo menos quando encarada sob o ponto de vista macroscópico, daquela que hoje exemplificamos com o *andar no vácuo dos automobilistas*. Isso justificaria o fato de Newton ter agrupado ar e éter num mesmo contexto. Aliás, veremos no próximo item que até mesmo esse *andar no vácuo* dos dias atuais admite, implicitamente, a existência ou de um éter imaterial, a permeiar o vazio existente entre as moléculas de ar, ou então de *alguma outra coisa* emitida pela matéria em virtude de seu movimento.¹⁵

Na questão 28 da Óptica III, Newton refere-se à dupla refração observada no cristal da Islândia, concluindo que a teoria da luz de Huygens implicaria na coexistência de dois éteres distintos a locupletarem um mesmo espaço. Após considerações outras, agora de natureza mecânica (em especial uma resistência que tornaria impraticável as operações da natureza, *fazendo-a definhar*), Newton conclui pela rejeição desse éter material com as seguintes palavras:

*E para rejeitar tal meio temos a autoridade daqueles mais antigos e mais celebrados filósofos da Grécia e da Fenícia, que fizeram do vácuo, dos átomos e da gravidade dos átomos os primeiros princípios de sua filosofia; simplesmente atribuindo a gravidade a alguma outra causa que à matéria densa.*¹⁶

A quarta possibilidade aventada seria aquela de forças originadas pela *ação de qualquer outro meio que se possa imaginar, material ou imaterial*. Ao que parece Newton está conjecturando a respeito de um possível éter imaterial, embora não seja comum ele se reportar a este hipotético meio através da palavra éter. De qualquer forma, esse suposto éter imaterial permeia toda a sua Óptica III, mascarado sob a idéia de *vibrações* a intermediarem as ações entre os corpos materiais e os corpúsculos newtonianos de luz. Na Questão 17, por exemplo, lê-se o seguinte:

*E não são essas vibrações propagadas a partir do ponto de incidência a grandes distâncias? E elas não alcançam os raios de luz, e alcançando-os sucessivamente, não os tornam facilmente refletidos e facilmente transmitidos...*¹⁷

A conclusão a que chegamos é que Newton, apesar de afirmar não dispor de experimentos em número suficiente, conseguiu analisar vários experimentos, a ponto de ir excluindo logicamente um a um dentre os vários possíveis agentes causais das forças, restando-lhe então duas opções: ou existiria de fato um espírito imaterial emitido pela matéria ou, então, existiria um éter imaterial a comportar essas *vibrações*. Essas vibrações seriam análogas, se bem que de outra natureza, àquelas descritas nos fenômenos ondulatórios mecânicos que ocorrem nos meios materiais, como por exemplo no ar ou na água.

Sem dúvida alguma, Newton vivenciou, no século XVII, um dilema muito semelhante àquele por que passaram os físicos clássicos do século XIX quando começaram a questionar a natureza corpuscular da luz, qual seja: Seria a luz corpuscular e *emitida* pelos corpos, ou seria a luz ondulatória e

¹⁴ Nota de rodapé do livro de Lacey (op. cit.), p.142.

¹⁵ MESQUITA FILHO, A. (2003): *Conversa de Botequim—Resposta à pergunta “Como é que um campo imaterial pode interagir com a matéria conforme as noções newtonianas de força”*— Editorial da revista Integração: IX:163-4 (agosto de 2003).

¹⁶ Óptica, (op. cit.), Livro III, Questão 28, p. 369.

¹⁷ Óptica, (op. cit.), Livro III, Questão 17, p. 348.

meramente o resultado da transmissão de momento através de um meio mecânico? O dilema de Newton era então o seguinte: Seriam os agentes dos campos entidades imateriais (espírito da matéria) emitidas pelos corpos através do vazio, ou seriam os agentes dos campos entidades ondulatórias (vibrações) e a transmitirem momento através de um meio imaterial (e, portanto, não exatamente o mesmo éter admitido por outros autores)?

É interessante perceber que se dermos uma conotação mais ampla ao vocábulo éter, poderemos dizer que ao optarmos por um espírito da matéria (e, portanto, algo de natureza imaterial) estaremos, de alguma maneira, firmando a idéia da existência de um éter imaterial não fixo (ou seja, não exercendo o papel de meio) mas *emitido* e a se propagar pelo espaço. Por outro lado, ao optarmos pelas *vibrações* citadas por Newton estaremos firmando a idéia da existência de um éter também imaterial, mas fixo, maleável (tal e qual uma gelatina) e incapaz de opor resistência aos corpos materiais. O ponto em comum das duas idéias seria tão somente a imaterialidade desses supostos éteres.

Ainda que seja possível, através da aceitação de qualquer dessas duas condutas acima apontadas, pensarmos numa recuperação total da física genuinamente newtoniana, decorrente de uma reformulação das interpretações do observado em experiências efetuadas nos séculos XIX e XX, quero crer que ainda não há um número suficiente de experimentos a resolver, de uma vez por todas, o dilema vivenciado por Newton e, curiosamente, deixado de lado pela grande maioria de seus mais obstinados seguidores.

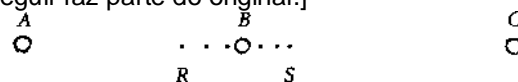
11- Newton e a informação do movimento

Embora Newton não tenha deixado explícito nada a respeito de como seria a ação intermediada pelo *espírito da matéria*, a se traduzir em forças, podemos argumentar, analisando alguns de seus textos, que ele teria especulado bastante a respeito. Digna de nota é a idéia de que o *espírito da matéria* seria decorrente do movimento da matéria, ou seja, emitido pela matéria em virtude de seu movimento. Seria então algo como que a informar o tipo de movimento da matéria e a reproduzir esse movimento em partículas contíguas. Esse dado vem bastante a calhar, pois se existe uma entidade a denunciar o movimento, a comprovação desta existência se prestaria a corroborar a idéia de um movimento absoluto. Ou seja, o *espírito da matéria* somente seria emitido por partículas efetivamente em movimento absoluto. Em outras palavras, seria o agente a denunciar o absolutismo do movimento. Uma simetria

mecânica perfeita: a matéria, por estar em movimento absoluto, geraria e emitiria agentes que se prestariam a promover mudanças do movimento absoluto de outras matérias.

No trabalho incompleto e não publicado de Newton, intitulado *De Aere et Aethere*, escrito por volta de 1679, ao discorrer sobre a experiência de Boyle, Newton afirma o seguinte:

*Suponhamos A, B e C, três partículas em estado de repouso; sendo B posto em movimento pelo calor em direção a A, até o ponto R, ele afasta A para uma distância maior e, pelo inverso da mesma ação, ao voltar para S, ele afasta C, e assim por diante; B repele alternadamente A e C com um movimento vibratório, e A e C repelem similarmente suas partículas vizinhas,...*¹⁸ [A figura a seguir faz parte do original.]



Ou seja, a partícula **B**, sendo posta em movimento em direção a **R**, empurra a distância a partícula **A**, pois **B** e **A** não se tocam. De maneira idêntica, ao caminhar para **S**, empurra a partícula **C**. Ora, qual seria o agente dessa força se não algo relacionado ao movimento de **B** e informado a **A**? A dúvida seria sobre a natureza desse agente da informação: Seria algo *emitido* por **B**? Seria a *vibração* de um meio imaterial (pois entre **A** e **B** somente existe vazio) produzida pela movimentação de **B**?

No mesmo trabalho, e logo a seguir, Newton faz a seguinte consideração:

Com base no mesmo princípio, o movimento ondulatório, pelo qual são propagados os sons é fácil de explicar.

Admitimos hoje que o som não se propaga através de *trombadas* (no sentido macroscópico do termo) entre partículas, mas sim da *transmissão de momento* de uma partícula que vibra para outra, e através de um vazio intermolecular, exatamente como propôs Newton. Então pergunto: O que é que estaria a se propagar entre uma partícula e outra? Seria o *espírito da matéria*? Seriam *vibrações* de um *éter imaterial*? Que mais poderia ser?

Newton não se atém a essa repulsão mas dá a entender que seriam possíveis outros movimentos e em outras direções. E, com efeito, existem também as ondas mecânicas transversas, a denunciarem a propagação, no vazio intermolecular, de um movimento

¹⁸ COHEN, I. Bernard e Richard S. WESTFALL (1995): *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*, (Tradução, 2002), Contraponto, Rio de Janeiro, p. 58.

vibratório e a simular um arraste conseqüente ao movimento da partícula emissora. No que diz respeito à gênese comum de atração e repulsão, isso está explícito na questão 31 da Óptica III:

E como em álgebra, onde quantidades positivas desaparecem e param, ali onde começam as quantidades negativas, assim também na mecânica, onde a atração cessa, ali deve suceder uma virtude repulsiva. E que existe uma tal virtude parece se seguir das reflexões e inflexões dos raios de luz. Pois os raios são repelidos pelos corpos, em ambas situações, sem que haja um contato imediato com o corpo que o reflete ou que o inflecte.¹⁹

Seria possível generalizarmos essa idéia a ponto de concluirmos que toda força seria conseqüente ao movimento absoluto da matéria? A tarefa não me parece nada fácil e por vários motivos. Em primeiro lugar, diria que tanto o eletromagnetismo quanto a gravitação deveriam comportar profundas revisões em seus alicerces. Lembro que Maxwell tentou, sem sucesso, mecanizar o eletromagnetismo tomando por base uma analogia, de natureza matemática, com a mecânica dos fluidos. Digo também que não será fácil arquitetar um modelo funcional a justificar como, através única e exclusivamente de seu movimento, as partículas seriam capazes de gerar a gravitação, apelando-se para construtos geométrico-analógicos a apoiarem-se na idéia do *andar no vácuo* dos automobilistas. Mesmo porque, uma partícula em vibração deveria alternar efeitos atrativos com efeitos repulsivos²⁰, logo, uma teoria a apoiar-se nesse modelo deveria levar em conta a existência de uma repulsão gravitacional, bem como explicar a ausência desse efeito no mundo macroscópico. Como seria possível à natureza nos ocultar essa repulsão, que poderia ser pensada como uma antigravitação? Há que se lembrar também da não propagação de efeitos ondulatórios de natureza mecânica (som, por ex.) no vazio sideral —ainda que se propaguem através do vazio intermolecular— enquanto que tanto a gravitação quanto o eletromagnetismo estão imunes a essa aparente resistência à propagação através do vácuo. À parte essas dificuldades, encaradas por muitos como intratáveis, quero crer que ainda assim vale a pena tentarmos recuperar a genuína física newtoniana, sob pena de nos perpetuarmos na condição de filósofos da incerteza e/ou, como diria o poeta Carlos Drummond, de nos contentarmos com a constatação de que *no meio do caminho tinha uma pedra* —e, não obstante, nada fizemos para removê-la.

¹⁹ Óptica, (op. cit.), Livro III, Questão 31, p. 395.

²⁰ MESQUITA FILHO, A. (1984): *Os átomos também amam*, Ed. da USJT, São Paulo, pp. 188-96.

Anexo I

a) Sobre a assimetria da experiência de pensamento:

Verifiquemos antes a assimetria da experiência de pensamento descrita no item 4. Uma análise relativística *ingênua* do problema poderia nos dar a sensação que no referencial do mini-lab a energia mecânica não se conserva. Este aparente paradoxo relaciona-se a uma assimetria inerente à experiência de pensamento e que estaria sendo mal interpretada. Vejamos como seria esta interpretação *ingênua* e, acima de tudo, errada. Pensemos apenas no que está acontecendo com a bolinha **C**.

Observador O:

| Antes (figura 2) | Depois (figura 4) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| E_C da bola: $\frac{1}{2} mv^2$ | E_C da bola: 0 |
| E_P da mola: 0 | E_P da mola: $\frac{1}{2} mv^2$ |
| E_{mec} Total: $\frac{1}{2} mv^2$ | E_{mec} Total: $\frac{1}{2} mv^2$ |

Observador O':

| Antes (figura 2) | Depois (figura 4) |
|--------------------|-----------------------------------|
| E_C da bola: 0 | E_C da bola: $\frac{1}{2} mv^2$ |
| E_P da mola: 0 | E_P da mola: $\frac{1}{2} mv^2$ |
| E_{mec} Total: 0 | E_{mec} Total: mv^2 |

Ou seja, no referencial de **O** a energia mecânica se conserva, mas no referencial de **O'** não!

b) Resolução do “paradoxo”:²¹

O erro da análise anterior reside na desconsideração da reação a ser observada na colisão bola-mola. Assim sendo, parte da energia da bola **C** teria sido incorporada ao movimento do laboratório como um todo (pois a mola está fixa ao teto do laboratório). Ou seja, parte da energia da bola ($\frac{1}{2} mv^2$) transforma-se em energia potencial da mola e parte em energia cinética do laboratório onde está situado o observador **O**. Em termos de movimento esta energia cinética poderá ser desprezível, mas não é desprezível em relação as energias que estão sendo consideradas para o fechamento do balanço energético. O observador **O** deveria considerar, em seus cálculos, a energia cinética do laboratório de massa **M**. Ou seja, antes do choque a energia cinética total do laboratório seria $\frac{1}{2} Mv^2$ e após o choque a energia mecânica total deveria incorporar a variação (sob certos aspectos

²¹ Coloco paradoxo entre aspas pois trata-se, na realidade, de um erro de interpretação e não de um paradoxo propriamente dito.

desprezível) da velocidade v do laboratório de massa **M**.

Na prática, e já que trata-se de uma experiência de pensamento, podemos anular este efeito promovendo uma simetria mecânica ao problema. Suponha que ao acionar o mecanismo que coloca o mini-lab em movimento, o observador **O** colocou também em movimento uma segunda bola **C'** a se chocar com uma outra mola também distendida e em oposição à mola que recebe o impulso da bola **C** (figura 7). Neste caso podemos, sem problemas,

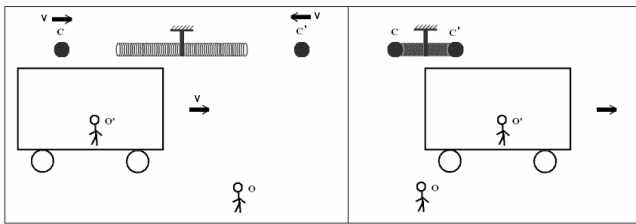


Figura 7: Explicação no texto

ignorar qualquer possível movimentação do laboratório (a simetria nos garante a inercialidade deste

movimento) e perceber que a energia se conserva nos dois referenciais. Neste caso a energia de cada bola se transforma totalmente em energia potencial da mola correspondente (vide tabelas a seguir):

Observador O:

| Antes | Depois |
|-------------------------|-------------------------|
| E_C das bolas: mv^2 | E_C das bolas: 0 |
| E_p das molas: 0 | E_p das molas: mv^2 |
| E_{mec} Total: mv^2 | E_{mec} Total: mv^2 |

Observador O':

| Antes | Depois |
|--------------------------|--------------------------|
| E_C das bolas: $2mv^2$ | E_C das bolas: mv^2 |
| E_p das molas: 0 | E_p da mola: mv^2 |
| E_{mec} Total: $2mv^2$ | E_{mec} Total: $2mv^2$ |

* * * * *