



# Dependência cósmica das leis da Física

**Mario Novello**

Pesquisador Emérito do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e editor da revista *Cosmos & Contexto*.

**Resumo**

Na segunda metade do século XX a Cosmologia assumiu o papel de arcabouço formal de sustentação da física e, na medida em que foram descobertos fortes indícios de que as leis da física variam com o passar do tempo cósmico, erodiu-se o caráter absoluto da aplicação das leis da física tal qual essas são observadas no ambiente em que vivemos. O reconhecimento do caráter histórico da natureza e, conseqüentemente, da física, conforme proposto por Marx e Engels no século XIX é chave para analisarmos os processos que ocorrem no universo profundo, distante de nós no espaço e no tempo. Nessas regiões, nas quais a intensidade gravitacional é elevada, a interação das forças com a geometria do espaço-tempo leva a quebras de simetria que permitem vislumbrar um processo de contração do universo, anterior ao de expansão que podemos observar diretamente, que demonstra o caráter eternamente inacabado do universo, sem a necessidade de apelarmos ao irracionalismo congênito à ideia da singularidade.

**Summary**

In the second half of the twentieth century, cosmology assumed a role as the formal framework that supports physics, and as strong evidence was mounting that the laws of physics vary with the passage of cosmic time, the absolute character of the application of the laws of physics, as they are observed in the environment in which we live, was eroded. Recognizing the historical character of nature, and consequently of physics, as proposed by Marx and Engels in the nineteenth century is key to analyzing the processes that take place in the deep universe, far away from us in space and time. In these regions, where gravitational intensity is high, the interaction of forces with the geometry of space-time leads to symmetry breaks that allow us to glimpse the process of contraction of the universe, prior to the expansion that we can directly observe, which demonstrates the eternally unfinished character of the universe, without the appeal to the irrationalism congenital to the idea of singularity.

As leis da Física variam com o tempo cósmico global.  
Ou seja, elas são intrinsecamente históricas.

Até o final da primeira metade do século 20, a Cosmologia – ciência que trata do universo em sua totalidade – não era entendida pela comunidade dos físicos como uma atividade científica convencional.

Com o desenvolvimento das técnicas de observação e os sucessivos aperfeiçoamentos nos satélites de investigação, esse panorama mudou. Hoje, a Cosmologia é não somente parte convencional da ciência como, mais importante ainda, ela é entendida como geradora do arcabouço formal de sustentação de toda a Física.

As recentes investigações cosmológicas permitiram entender como as leis físicas – obtidas por experiências na Terra e suas vizinhanças – possuem uma componente histórica de natureza inesperada. Dito de outro modo, há fortes indícios de que as leis da física variam com o passar do tempo cósmico.

A extensão ilimitada das leis físicas terrestres a todo o cosmos associou o universo a um sistema rígido, fechado, completo.

Essa orientação estava baseada na hipótese de que ao examinar as leis físicas no laboratório terrestre, os cientistas estariam desvendando a estrutura das leis que seriam válidas para todo o universo. No entanto, essa era uma extrapolação que deveria ter sido analisada com cuidado.

Imaginar que as leis da física são eternas e imutáveis, dadas por um decálogo cósmico é ter uma visão a-histórica dos processos no universo. Somente introduzindo a dependência cósmica das interações é possível retirar qualquer resquício de irracionalidade na descrição dos fenômenos na natureza e afirmar a força do modo científico de pensar o cosmos.

A extensão do alcance de aplicação das leis físicas para além da região onde elas foram efetivamente observadas é um modo natural de iniciar a descrição científica do desconhecido. No entanto, seu uso absoluto resultou ser tão impositivo e foi usado de modo tão amplo que inibiu qualquer forma de crítica, mesmo naqueles territórios onde essa extensão das leis não possuía nenhuma confirmação observacional.

Essa forma de limitar o pensamento, na tentativa da descrição racional do universo levou à subordinação a leis rígidas, fixas, imutáveis e cuja origem estaria para todo o sempre inacessível. Creio que é aí que podemos encontrar as origens de sustentação formal do nefasto pensamento único que controla e corrói a sociedade nos dias atuais, uma utilização indevida da prática científica.

Nós só reconhecemos uma só ciência: a ciência da história, afirmaram Marx e Engels em *A ideologia alemã*. Essa sentença deve ser entendida, no interior da própria atividade científica, exibindo as origens de sua refundação na cosmologia – a ciência histórica por excelência.

No primeiro momento, os físicos não consideraram aquela afirmação de Marx e Engels seriamente porque a quase totalidade dos cientistas acreditava que aqueles filósofos estavam se referindo às questões humanas, o território natural da historicidade. A Física, a ciência da natureza por excelência, sempre foi associada a uma prática que

lida com processos que não se submetem à evolução e transformação que aquela asserção sub-repticiamente remete.

No entanto, um movimento subversivo estimulado por cientistas como Paul Dirac, Andrei Sakharov, Cesare Lattes, Kurt Gödel, Fred Hoyle e outros alterou profundamente a visão tradicional e a hipotética rigidez do universo ao instaurar o exame da possível variação temporal das leis físicas com a evolução do universo, apresentando argumentos sólidos segundo os quais a afirmação daqueles filósofos pode efetivamente ser aplicada igualmente à física.

Dito de outro modo, esses cientistas exibiram como a limitação de restringir a evolução do universo a um esquema rígido de leis é incompatível com diversos processos físicos.

É preciso deixar claro que a variação cósmica das leis físicas não produz nenhum efeito sensível em nossa vizinhança terrestre. A razão se deve a que essa dependência temporal só produz efeitos observáveis quando se trata de fenômenos referentes a longos períodos de tempo cósmico ou em regiões onde o universo se curva intensamente sobre si mesmo. Como os processos terrestres possuem tempos de ocorrência extremamente reduzidos comparativamente aos tempos cósmicos de variação das leis, entendemos porque não existem efeitos apreciáveis nas leis físicas que aplicamos em nosso planeta e em nossa vizinhança e porque podemos então considerar as leis físicas terrestres como pétreas, fixas.

A variação cósmica das leis só tem consequências observáveis ao analisarmos a fenomenologia global, quando tratamos de processos que ocorrem no universo profundo, distante de nós no espaço e no tempo.

Talvez fosse importante esclarecer ao leitor que ao tratar das mudanças das leis da física não estou me referindo àquelas alterações que fazem parte natural de seu procedimento de conhecimento. Sabemos que as leis de Newton, por exemplo o seu cenário espaço absoluto e tempo absoluto, foram alteradas por Poincaré e Einstein. Esses não mostraram que Newton estava errado, mas sim limitaram o alcance de sua descrição da natureza. Esse procedimento, essa correção de rumo, é corriqueiro em todas as atividades sociais, e diz respeito, não ao objeto de exame, a natureza, mas sim à condição humana. Não é dessa historicidade de representação do real, que estou me referindo, mas sim da alteração das leis da natureza como intrínseca ao cosmos.

As necessidades do sistema econômico moderno não requerem essa historicidade, mas não lhes têm hostilidade, pelo menos enquanto ela não inibir o modo de produção da ciência. Pois, na visão utilitarista dominante, o que se quer da ciência é o fundamento que permite o desdobramento de novas técnicas capazes de gerar tecnologias, produtos. É assim que a prática dos cientistas é conduzida sub-repticiamente à sujeição aos modos de dominação capitalista.

A alienação não se encontra na atuação formal no interior da atividade científica, nem em seus modos sociais, mas sim no próprio fazer ciência, na elaboração de novas questões, dos caminhos para sua solução e principalmente no abandono da prioridade maior dos cientistas: a pura curiosidade.

Vamos então fazer um pequeno sobrevoo sobre algumas propriedades que sustentam essa dependência das leis físicas com sua posição no espaço-tempo.

Devemos começar com o reconhecimento de que das quatro forças fundamentais que existem, a estrutura e dinâmica do universo é controlada pela interação gravitacional. Isso é compreensível ao examinarmos as suas características. As forças nucleares (Fracas (de Fermi) e Fortes) têm importância na constituição da matéria. As forças de Fermi são responsáveis pela desintegração da matéria e as Fortes pela sua estabilidade. Além da gravitação, a outra força de longo alcance, o eletromagnetismo, não desempenha papel importante em um universo constituído de átomos neutros.

Embora a gravitação seja a mais fraca dessas quatro forças fundamentais, devido a seu exclusivo caráter atrativo e sua universalidade é ela a responsável pela estrutura do universo, por sua geometria. Por isso sempre que uma nova teoria da gravitação se estabelece, uma nova cosmologia vem associada.

No século 20 a gravitação estabelecida por Isaac Newton teve uma formidável alteração feita por Albert Einstein em sua Teoria da Relatividade Geral (RG). Segundo essa teoria a gravitação deve ser identificada com a geometria do espaço e do tempo, unificados na estrutura quadridimensional espaço-tempo. A matéria e a energia, sob qualquer forma, é capaz de afetar essa geometria, produzindo uma curvatura nesse espaço-tempo. É precisamente essa curvatura que é identificada com o fenômeno da gravitação.

No caso de campos fracos – como os que ocorrem na Terra e suas vizinhanças – essa curvatura é muito pequena e por isso podemos descrevê-la usando a interpretação newtoniana. Somente em regiões onde a intensidade gravitacional é elevada, a teoria da Relatividade Geral de Einstein se faz indispensável. Ou seja, como ocorre sempre na ciência, Einstein não mostrou que Newton estava errado: o que ele fez foi limitar a aplicação da interpretação newtoniana para campos gravitacionais fracos. Na vizinhança de estrelas colapsadas (buraco negro) e nas profundezas do universo, onde a gravitação é muito forte, a RG se torna indispensável.

Uma das mais importantes consequências da RG foi a proposta feita pelo físico russo Alexander Friedmann que em 1922 apresentou uma solução das equações da Relatividade Geral que representa um universo em expansão. Isto é, esse modelo institui uma representação a partir da escolha de um tempo cósmico global na qual o volume tridimensional total do universo varia com o passar daquele tempo.

Mais tarde, observações feitas por E. Hubble comprovaram essa maravilhosa descoberta de Friedmann.

Durante todos esses cem anos, desde sua descoberta, o cenário cosmológico de Friedmann não sofreu nenhuma alteração e desde então passou a ser considerado o modelo padrão do universo.

Entretanto, esse modelo possui uma dificuldade extrema: ele possui uma singularidade onde todas as quantidades físicas assumiriam o valor infinito, o que foi erroneamente identificado com o “começo do universo” e chamado de modo jocoso, “*big bang*”.

Isso significa que nesse modelo de Friedmann é impossível manter uma descrição racional do universo ao longo de toda sua história, pois aquele “momento inicial” não é passível de ter uma explicação no interior da ciência.

Foi somente em 1979 que cenários cosmológicos mais realistas, permitindo alargar

a descrição racional do universo foi descoberto por cosmólogos do Brasil (M. Novello e J. M. Salim) e da então URSS (V. Melnikov e A. Orlov).

Nesses modelos, o universo teria passado por uma fase de colapso gravitacional onde seu volume diminuiria com o tempo cósmico, passaria por um valor mínimo (diferente de zero) e passaria então a se expandir. Nós vivemos nessa atual fase de expansão.

Esse modelo dito “*bouncing*” do universo permite considerar uma proposta antiga do físico inglês R. Tolman que na década de 1930 sugeriu a ideia de ciclos cósmicos. Essa sugestão havia sido abandonada no modelo de Friedmann, porque seria impossível uma fase colapsante passar a uma fase expansionista pois na solução de Friedmann isso requereria passar através da singularidade, o que é fisicamente impossível.

No entanto, nos modelos sem singularidades como nos dois exemplos acima, uma tal possibilidade de ciclos se torna possível.

A origem do colapso do universo e de sua ulterior transformação foram entendidas, graças a uma cooperação entre cosmólogos e físicos de Altas Energias através de uma análise quântica da matéria. Sua origem estaria associada à instabilidade do vácuo quântico. Segue daí que, assim como esse universo se autocriou a partir de um vácuo, quando ele se autodestruir no longínquo futuro só sobrar o vácuo. A partir desse vácuo se construirá um novo universo. E assim sucessivamente.

Não vamos comentar mais sobre isso pois nos afastaria de nossa questão principal aqui.

Depois desse longo desvio, para situar o leitor no cenário atual da cosmologia, podemos considerar algumas situações que exibem claramente a dependência com o tempo cósmico global das leis físicas. Vamos considerar somente dois exemplos, um formal, resultado da teoria da Relatividade Geral; outro, observacional e que por simplificação iremos chamar pelo nome de seus principais criadores: Gödel e Sakharov.

Começemos com Gödel que mostrou como a noção de causalidade não pode ser considerada globalmente, isto é, um processo que localmente consideramos causalmente conectado pode, por influência gravitacional, violar essa causalidade. Quanto a Sakharov, produziu um modelo de violação de uma lei da física das partículas elementares.

A noção de causalidade foi substancialmente modificada pela Teoria da Relatividade Especial (RE) cuja formulação se baseou nos trabalhos de vários cientistas dentre os quais podemos citar o matemático francês Henri Poincaré e o físico alemão Albert Einstein.

Assim, os físicos conseguiram formular de modo direto, preciso e universal a distinção entre passado e futuro. Ademais, um dos pilares da RE permite afirmar que nenhum corpo material pode se locomover com velocidade igual ou superior à velocidade de propagação da luz. Pensava-se então que essa distinção passado-futuro fosse universalmente válida acarretando assim que nenhum corpo pode se movimentar na direção de seu passado. Esse resultado dava sentido e corroborava nossa experiência cotidiana. No entanto, o matemático austríaco Kurt Gödel mostrou que sob certas condições de propriedades do campo gravitacional isso poderia não ocorrer. Isto é, em certas configurações de campo da gravitação ao caminhar localmente para meu futuro (de acordo com a Relatividade Especial) eu não estaria me afastando de meu passado.

Ou seja, como se o caminho de um corpo material nesse campo gravitacional descoberto por Gödel se estruturasse por um tempo cíclico, efeito de curvatura do espaço-tempo sobre a questão causal.

Desse modo, entendemos então porque não podemos ter na Terra a experiência de “volta ao passado”: porque o campo gravitacional da Terra é fraco e não possui as características de um campo gravitacional gödeliano. Ou seja, a lei causal se modifica globalmente. Ela não é universal.

Podemos agora tratar da proposta de Sakharov para compatibilizar uma lei local com as propriedades do nosso universo. Os físicos de Altas Energias mostraram que os processos elementares que ocorrem ao nível elementar, quântico, são completamente simétricos na troca de matéria por antimatéria. Com efeito, sabemos desde as primeiras décadas do século passado que toda matéria, toda partícula elementar possui sua antipartícula. Por exemplo, o elétron, que tem carga elétrica negativa, possui sua antipartícula, o antielétron (pósitron) que tem as mesmas características que o elétron (mesma massa, mesmo spin, etc.) mas possui carga oposta, positiva. Assim, quando um elétron está próximo do antielétron eles coalescem e se aniquilam, sobrando somente suas energias sob forma de radiação. O mesmo ocorre com qualquer outra partícula material.

Assim, dessa propriedade esperaríamos que no universo devesse existir tanta matéria quanto antimatéria, pois seus processos de formação são totalmente semelhantes. No entanto, não é isso que se observa. Nosso universo é composto praticamente somente de matéria. Assim, surge a questão: onde foi parar a antimatéria? Por que essa assimetria global que não tem sustentação na simetria local observada?

Sakharov propôs uma solução para essa dificuldade, aceita pela comunidade científica. Segundo ele, é a gravitação que seria responsável por essa assimetria. Em regiões de campo gravitacional intenso, a interação entre a matéria e a geometria extremamente curva do espaço-tempo explica essa característica. Isso ocorreria em regiões de curvatura intensa. O fato de que o campo gravitacional na Terra e em suas vizinhanças ser fraco, permite entender essa ausência de assimetria nos laboratórios terrestres.

Onde então essa assimetria se manifestaria crucialmente? Na região onde o universo estava extremamente concentrado e seu volume reduzido. É aí que a intensidade do campo gravitacional seria de tal ordem que quebraria aquela simetria observada na ausência de um campo gravitacional forte. Ou seja, no momento de “*bouncing*” quando o colapso gravitacional da fase anterior do universo se transforma na atual fase de expansão.

Do que comentamos acima, concluímos que uma nova ordem está em construção na Cosmologia contemporânea capaz de produzir uma alteração substancial na ciência e que transborda inevitavelmente para outros saberes.

A análise da dependência cósmica das leis físicas induz o inesperado efeito de que as leis do universo estão ainda em formação. Ou seja, seguindo a orientação daqueles cientistas históricos, verdadeiros transgressores do *establishment*, somos levados a concluir que o universo está ainda em formação, é inacabado, eternamente inacabado, em um processo contínuo de formação, criação e destruição.

## Referências

NOVELLO, Mario. **O universo inacabado**: a nova face da ciência. São Paulo: Editora N-1, 2018.

\_\_\_\_\_. **Manifesto cósmico**. In Cosmos & Contexto. 2016. Disponível em <<https://cosmosecontexto.org.br/manifesto-cosmico/>>

\_\_\_\_\_. **Manifesto cósmico 2**. In Cosmos & Contexto. 2022A. Disponível em <<https://cosmosecontexto.org.br/manifesto-cosmico-2/>>

Recebido em 23 de novembro de 2022 e aprovado para publicação em 11 de dezembro de 2022.