Unificação das Interacções Fundamentais da Natureza e o Universo Primitivo

Orfeu Bertolami e José Cidade Mourão

Instituto Superior Técnico, Departamento de Física

Lisboa 1990

Nos últimos anos os físicos teóricos têm estudado com crescente interesse os instantes iniciais da história do Universo. Este interesse deve-se fundamentalmente à compreensão de que o Universo primitivo, isto é o Universo logo depois da explosão inicial, designada por "Big-Bang", é o laboratório mais adequado para a verificação de inúmeras propriedades das teorias que descrevem as interacções fundamentais da Natureza.

Alguns minutos depois do Big-Bang, quando a temperatura do Universo era da ordem de cem mil milhões de graus Kelvin ($T = 10^9\ ^oK$) e a densidade média de matéria no Universo era semelhante à densidade nuclear média ($10^{15} g/cm^3$) grande parte dos processos encontram a sua explicação no âmbito da física nuclear. Recuando ainda mais no tempo, até um milionésimo de milionésio de segundo (10^{-12}segundos), as energias envolvidas eram semelhantes às alcançadas hoje no grande acelarador de electrões e positrões - LEP- situado em Genebra na Suiça. Presentemente um dos grandes desafios teóricos consiste em continuar esta viagem para trás no tempo em direcção ao Big-Bang. Além do interesse próprio que esse período da história do nosso Universo suscita, acredita-se que fenómenos ocorridos então podem ter tido implicações importantes, determinando grande parte das características do Universo actual.

Conceptualmente, foi sómente após a teoria da gravitação de Albert Einstein (1879 - 1955) - a Relatividade Geral - que o Universo e a sua evolução como um todo puderam ser estudadas consistentemente. A gravitação é o nome que se dá à interacção que afecta todos os tipos de matéria e energia. A um nível mais fundamental, a gravitação determina a configuração ou "textura" do espaço e do tempo. Assim ao invés de dizermos que o Sol atrai os planetas, é mais correcto dizermos que ele deforma o espaço e o tempo em seu redor - ou seja modifica a geometria do espaço-tempo. Encontrando-se neste espaço e tempo deformado os planetas vêm as suas trajectórias (que seriam rectilíneas na ausência do Sol) transformados em órbitas em torno do Sol. Estas ideias têm profundas implicações cosmológicas. Por exemplo a trivial e quotidiana observação de que a noite é escura, requer um modelo da distribuição e comportamento da matéria no Universo e esta, por sua vez, só pode ser entendida pelo efeito da gravitação em escalas cosmológicas. Com efeito, se o Universo é infinito, a escuridão nocturna só pode ser explicada se as fontes longínquas de radiação, as galáxias, se estiverem a afastar radialmente da nossa galáxia.

A gravidade inflencia-nos directamente, uma vez que é esta força que nos mantém ligados à Terra, e é também ela a responsável pelas marés e pelas órbitas de satélites, cometas, planetas e estrelas. Sir Isaac Newton (1642 - 1727) foi quem percebeu a universalidade desta força, que actua indiscriminadamente em maçãs e corpos celestes na razão directa do produto das massas envolvidas e inversa do quadrado das distâncias entre os corpos. A lei enunciada por Newton permitiu deduzir as leis empíricas do movimento planetário de Johannes Kepler (1571 - 1630) e prever, por exemplo, a existência do planeta Neptuno por John C. Adams (1819 - 1892) e Urbain J. J. LeVerrier (1811 - 1877) em 1845, através do estudo das perturbações observadas na órbita do planeta Urano. Já no século XVIII, Pierre Simon Laplace (1749 - 1827) tinha, na Exposition du Système du Monde (1786) e no monumental Mécanique céleste (1790), sistematizado e organizado o Mundo segundo a visão newtoniana. Contudo no final do século XIX, a gravitação newtoniana veio encontrar os seus limites de aplicabilidade quando se percebeu qua a órbita de Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol, não podia ser completamente compreendida pela generalização, devida a Henri Poincaré (1854 - 1912), de técnicas newtonianas para a resolução do problema de muitos corpos.

A Física Clássica passou então por uma crise que veio a ser em parte resolvida pelo desenvolvimento da Relatividade Restrita em 1905 e da sua generalização, a Relatividade Geral, em 1916. Esta última teoria, prevê que a geometria do espaço e do tempo depende da distribuição de matéria no Universo. Assim, a observação da distribuição da matéria cósmica permite, através da resolução das equações do campo gravítico, determinar a geometria do Universo em larga escala bem como a sua dinâmica e evolução. Foi deste modo que o afastamento sistemático das galáxias distantes, observado pela primeira vez por Edwin Hubble (1889 - 1953) em 1929, pode ser explicado como resultado da resolução das equações da teoria da Relatividade Geral (curiosamente Einstein opôs-se por algum tempo à ideia de um Universo em evolução). Diversos modelos cosmológicos evolutivos foram então propostos. Foi influenciado por estes modelos, e em especial pelos modelos do matemático russo Alexander A. Friedmann (1888 - 1925) e do abade belga Georges

Lemaître (1894 - 1966), que o físico russo-americano George Gamow (1904 - 1968), propôs em 1948 que as galáxias, presentemente em expansão, estariam num passado remoto, concentradas e a mateŕia que as compõe consistiria de uma "sopa" de partículas elementares a altíssimas temperaturas. Gamow previu que a partir destas partículas elementares se teriam sintetizado os elementos mais leves e que, como remanescente desta fase primitiva, ocorrida há aproximadamente 10 milhares de milhões de anos existiria, espalhada por todo o Universo, uma radiação de fundo que não estaria associada a nenhuma das fontes usuais de radiação electromagnética tais como estrelas, galáxias, rádio-galáxias, etc. Essa radiação viria de facto a ser detectada em 1965 pelos americanos Arno Penzias e Robert Wilson, na região das ondas milimétricas do espectro electromagnético.

Desde esta observação crucial a Cosmologia tem-se desenvolvido aceleradamente, procurando estudar e compreender diversos aspectos da estrutura do Universo. Presentemente, os investigadores estudam intensamente questões referentes as condições que deram origem às galáxias e aos grupos e super grupos de galáxias. Consistência entre teoria e observação parecem indicar que a formação de grandes estruturas no Universo exige que aproximadamente 90% da massa do Universo consiste de matéria escura, isto é de matéria que não emite luz. Possíveis candidatos para a matéria escura podem ser encontrados nas diversas teorias da física das partícilas elementares. A existência de matéria escura indica indirectamente que 10^{-35} segundos após o Big-Bang, o Universo primitivo provavelmente passou por um período de expansão extremanente acelerada, designada por inflação. Esta fase de expansão acelerada explicaria alguns aspectos paradoxais existentes em modelos cosmológicos nos quais certas propriedades da física das partículas elementares são negligenciadas.

Questões desta natureza conduzem naturalmente ao estudo de um outro aspecto da Gravitação, nomeadamente a da possível ligação da interacção gravitacional com a física que descreve o comportamento das partículas atómicas e sub-atómicas. Após a crise da Física Clássica dos finais do século XIX e princípios deste século, surgiu, pouco depois da Teoria da Relatividade, uma outra teoria fundamental - a Mecânica Quântica. Esta teoria explica acontecimentos ocorridos em escalas atómicas e sub-atómicas permitindo a compreensão de fenómenos em áreas tão diversas e com implicações tecnológicas de tão grande impacto como a Electrónica ou a Física dos Materiais.

Um dos aspectos mais importantes que a Mecânica Quântica introduz na Gravitação consiste no facto de que, do ponto de vista quântico (contráriamente à descrição clássica na qual a interacção gravítica se propaga através de ondas semelhantes às ondas electromagnéticas), esta interacção se manifestar pela troca de partículas elementares designadas por gravitões. Descrições análogas já haviam sido utilizadas com grande sucesso na compreesão das restantes interacções. Acredita-se que todas as manifestações dinâmicas na Natureza (pelo menos para escalas de energia compreendidas entre aquelas com que lidamos diáriamente e as que são obtidas nos aceleradores de partículas elementares existentes) podem ser em última instância reduzidas a quatro interacções qualitativamente diferentes: gravitacional, electromagnética, nuclear forte, (responsável pela esta estabilidade dos núcleos) e a nuclear fraca (responsável, por exemplo, pelo decaimento dos neutrões livres).

Espera-se que a formulação quântica da Gravitção permita também penetrar nos enigmas dos primeiros 10^{-44} segundos da história do Universo, assim como resolver muitas das dificuldades teóricas encontradas pela teoria clássica da gravitação. Uma das mais importantes relaciona-se com a questão da singularidade inicial, isto é com a interpretação da explosão inicial responsável pela origem do Universo. A sítese da Relatividade Geral com a Mecânica Quântica não é apenas desejada por razões técnicas, mas faz-se também necessária para descrever a espantosa riqueza e multiplicidade das manifestações das Natureza. É neste contexto que surgem as tentativas de conseguir uma descrição unificada de todas as interacções, usualmente designada por "Teoria de Tudo". A construção desta teoria Quântica da Gravitação é um dos grandes sonhos dos físicos teóricos. Além da riqueza matemática, um dos espectos mais fascinantes destas teorias de unificação é a extraordinária diversidade de implicações envolvidas. Dentre estas poderíamos mencionar a previsão de que o espaço-tempo tem mais que 4 dimensões, a multiplicidade de universos, que embora independentes determinariam mutualmente os valores das constantes fundamentais da natureza, a variação temporal destas últimas, etc ...